

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra Elektroenergetiky

**Využití biomasy jako akumulční zdroj
energie pro elektrické distribuční sítě**

**Biomass utilization for storage energy in
distribution network**

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Antonín Klenec**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika
Téma: **Využití biomasy jako akumulární zdroj energie pro elektrické
distribuční sítě**
Biomass utilization for storage energy in distribution network

Zásady pro vypracování:

1. Technologie zpracování biomasy, bioplynová stanice
2. Kogenerační jednotka, popis funkce
3. Vliv proměnlivého výkonu obnovitelných zdrojů na distribuční sítě
4. Řízení výkonu kogenerace zapojené do distribuční sítě 22kV

Seznam doporučené odborné literatury:

1. KRBEK, J. POLESNÝ, B. Kogenerační jednotky zřizování a provoz. Kniha Praha, 2007. ISBN 978-80-7328-151-9
2. MASTNÝ, P. a kol. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Kniha ČVUT Praha, 2011
3. Sborník referátů: Mezinárodní konference EPE 2014 Brno

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Zdeněk Hradílek, DrSc.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě 7. května 2015


.....
Bc. Antonín Klenec

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Prof. Ing. Zdeňku Hradílkovi, DrSc. a dále také konzultantovi panu Ing. Michalu Špačkovi, za jejich odbornou pomoc, cenné rady a připomínky při zpracovávání této diplomové práce

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá biomasou, bioplynovými stanicemi a jejich možnostmi výroby elektrické energie. V teoretické části je popsáno, co je to biomasa a možnosti jejího zpracování k energetickým účelům. Další kapitola je věnována kogeneračním jednotkám, jejich dělení a principu jejich funkce. Dále v diplomové práci jsou popsány důsledky proměnlivého výkonu větrných a slunečních elektráren na elektrickou síť. V závěrečné praktické části je proveden základní popis bioplynové stanice Hodoňovice a rozbor naměřených hodnot z 30 denního měření, které probíhalo na téže bioplynové stanici.

Klíčová slova

Biomasa, bioplyn, bioplynová stanice, kogenerace, kogenerační jednotka, obnovitelný zdroj energie.

Abstrakt

This diploma thesis deals with biomas, biogas plants and with their possibilities to generate eletrical energy. In the thoretical section is described, what is biomas and it's possibilities to use it for energy purposes. The next chapter is dedicated to cogeneration units, their dividing and principlal of their function. Furthermore, in the diploma thesis is described cosequences of variable power of wind and solar power plant into the electrical network. In the final practical part is made a basic description of biogas station Hodoňovice and analysation of measured values from 30-day measurment, which took place in the same biogas station.

Key words

Biomass, biogas, biogas station, cogeneration, cogeneration unit, renewable energy sources.

Seznam použitých symbolů a zkratek

symbol	název	jednotka
CO	Oxid uhelnatý	[-]
CO ₂	Oxid uhličitý	[-]
cosφ	Účinník	[-]
H	Vodík	[-]
H	Frekvence	[Hz]
H ₂ O	Voda	[-]
CH ₄	Metan	[-]
I	Elektrický proud	[A]
K	Draslík	[-]
N	Dusík	[-]
nn	Nízké Napětí	[V]
NO _x	Oxid dusíku	[-]
O	Kyslík	[-]
OZE	Obnovitelný zdroje energie	[-]
P	Výkon	[W]
p	Tlak	[Pa]
P _{st}	Krátkodobá míra vjemu flikru	[-]
P _{lt}	Dlouhodobá míra vjemu flikru	[-]
Q	Jalový výkon	[VAr]
S	Síra	[-]
S _{kv}	Zkratový výkon sítě	[VA]
S _{ra}	Jmenovitý výkon celého zařízení	[VA]
S _{rg}	Zdánlivý výkon generátoru	[VA]
T	Teplota	[°C]
U	Elektrické napětí	[V]
U Harm.	Harmonické napětí vyšších řádů	[%]
U _k	Napětí mezi kontakty	[V]
V	Objem	[m ³]
VN, vn	Vysoké napětí	[V]
Δu _{nn,max}	Maximální úbytek napětí v síti nn	[%, V]
Δu _{vn,max}	Maximální úbytek napětí v síti vn	[%, V]
ω	Hustota energie	[J/m ³]

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Technologie zpracování biomasy, bioplynová stanice.....	9
2.1.1 Biomasa pro energetické účely.....	10
2.1.2 Metody využití biomasy pro energetické účely.....	11
2.2 Bioplyn.....	15
2.2.1 Výroba bioplynu.....	16
2.3 Bioplynová stanice	17
2.3.1 Příjmová část.....	18
2.3.2 Fermentor	18
2.3.3 Skladování a úprava bioplynu	19
2.3.4 Kalová koncovka.....	19
3. Kogenerační jednotka, popis funkce	20
3.1 Popis funkce	20
3.1.1 Lokální systémy	21
3.1.2 Centrální systémy	21
3.1.3 Horní kogenerační systémy	21
3.1.4 Dolní kogenerační systémy	22
3.2 Třídění kogeneračních jednotek	22
3.2.1 Zařízení pro úpravu primárního zdroje energie.....	22
3.2.2 Primární jednotky	23
3.2.3 Zařízení pro výrobu a úpravu energie	27
3.2.4 Zařízení pro rekuperaci tepelné energie	27
3.3 Kogenerační jednotky využívající biomasu	27
3.3.1 Teplárna s parní turbínou, či parním motorem.....	28
3.3.2 Kombinovaná zařízení s olejovým kotlem	28
3.3.3 Zařízení využívající spalovacích motorů a spalovacích turbín na bioplyn.....	29
4. Vliv proměnlivého výkonu obnovitelných zdrojů na distribuční sítě.....	30
4.1 Centralizovaná a decentralizovaná výroba elektrické energie	30

4.2	Stabilita distribuční sítě	30
4.3	Zpětné vlivy obnovitelných zdrojů na distribuční sítě	32
4.3.1	Změna napětí	32
4.3.2	Kolísání napětí.....	33
4.3.3	Proudy harmonických vyšších řádů	34
4.3.4	Vliv na zařízení HDO	34
4.4	Vliv proměnlivého výkonu slunečních elektráren na distribuční sítě	35
4.5	Vliv proměnlivého výkonu větrných elektráren na distribuční sítě	36
4.5.1	Lokální vlivy větrných elektráren na elektrizační soustavu	37
4.5.2	Systémové vlivy větrných elektráren na elektrizační soustavu	37
4.6	Stochastika větrných a slunečních elektráren.....	38
4.6.1	Klasifikace stochastických metod	38
4.6.2	Možnosti eliminace stochastických změn	40
4.6.3	Zhodnocení možností pro eliminace stochastických změn	41
5.	Řízení výkonu kogenerace zapojené do distribuční sítě 22 kV	42
5.1	Popis bioplynové stanice Hodoňovice	42
5.2	Technologický popis bioplynové stanice Hodoňovice.....	42
5.3	Popis měření na bioplynové stanici Hodoňovice	43
5.3.1	Analýza naměřených hodnot	44
5.3.2	Analýza průběhu napětí, účinníku, frekvence	48
5.3.3	Flikr, HDO signály, Harmonické složky	50
5.3.4	Analýza průběhu mimořádných událostí.....	52
5.3.5	Vyhodnocení měření	62
6.	Závěr.....	66
	Seznam použité literatury	68
	Seznam obrázků.....	70
	Seznam grafů.....	71
	Seznam Tabulek.....	71

1. Úvod

Získávání elektrické energie a tepla z fosilních paliv je nedílnou součástí dnešního, po energiích, hladového světa, ale musíme si uvědomit, že i když množství získané energie z fosilních paliv je téměř vždy vyšší, než v případě obnovitelných zdrojů, tak obnovitelné zdroje mají nepochybnou výhodu v tom, že jsou téměř nevyčerpatelné, a to je jejich hlavní přednost, protože získávání klasických fosilních paliv je z jejich ubývajícím množstvím stále nákladnější, až to jednou dosáhne takového bodu, že se jejich těžba z ekonomického hlediska už nevyplatí. Další výhoda při provozu obnovitelných zdrojů spočívá v jejich šetrnosti k životnímu prostředí. V žádném případě nechci, aby to vyznělo, že máme přestat využívat fosilní paliva, naopak já vidím budoucnost v tom, že budeme postupně zvyšovat efektivitu při využívání fosilních paliv (nové technologické postupy atd.) současně s rostoucím množstvím využití obnovitelných zdrojů. Samozřejmě můžeme v budoucnosti najít úplně nový zdroj energie, který vytlačí všechny stávající, a naskytne se otázka, proč jsme jen vyhazovali peníze a čas na výzkum obnovitelných zdrojů energie, na druhé straně také nový zdroj energie nemusíme nalézt a ještě budeme v budoucnu vděční za to, že jsme obnovitelné zdroje podporovali.

Z obnovitelných zdrojů se v této práci věnuji konkrétně využití biomasy, potažmo bioplynu pro akumulaci elektrické energie, jelikož by biomasa mohla být jedním z mála zdrojů vhodných pro akumulaci většího množství elektrické energie, dále je to zdroj energie, který můžeme relativně rychle znovu vyprodukovat a tudíž se jedná o obnovitelný zdroj v pravém slova smyslu, na rozdíl např. od sluneční energie, protože jak chceme obnovit slunce, pokud přestane svítit?

Úkolem v této diplomové práci je popsat proces vzniku biomasy a možnosti jejího využití pro energetické účely, a to zejména bioplynu, využitelného v bioplynových stanicích vybavených většinou kogeneračními jednotkami pro výrobu elektrické a tepelné energie.

Dále v této práci se věnuji problematice provozu větrných a slunečních elektráren, a to hlavně důsledkům proměnlivého výkonu těchto zdrojů na elektrickou distribuční síť.

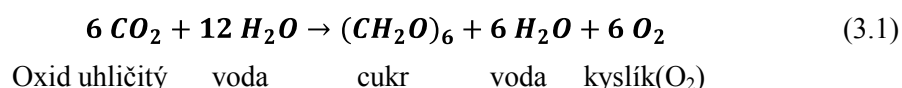
V závěrečné kapitole se zabývám analýzou měření elektrických veličin z bioplynové stanice Hodoňovice zapojené do distribuční sítě 22 kV, ve které provádím samotný popis bioplynové stanice Hodoňovice a následně analýzu a vyhodnocení naměřených průběhů na této bioplynové stanici.

2. Technologie zpracování biomasy, bioplynová stanice

V této kapitole bude popsáno, co je to biomasa, možnosti zpracování biomasy, tvorba a vlastnosti bioplynu a základní popis bioplynové stanice, v téže kapitole je také popsáno složení bioplynu a princip bioplynové stanice.

Za biomasu lze považovat všechnu biologickou hmotu nefosilního původu, ať již jde o dřevo, rostliny, živočišné exkrementy, či jiné organické odpadky. Biomasa v sobě obsahuje energii slunečního záření, která byla pomocí fotosyntézy uskladněna v rostlinách, tudíž můžeme považovat biomasu za obnovitelný zdroj energie, jelikož ji můžeme kdykoliv znovu vyrobit. [2,3]

Proces vzniku biomasy pomocí fotosyntézy lze vysvětlit asi jako syntetizaci organických látek z oxidu uhličitého a vody za přítomnosti vzájemné interakce mezi enzymy, chlorofylem a sluneční energií. V průběhu této reakce je oxid uhličitý redukován na jednoduchý cukr a z vody se začne uvolňovat molekulární kyslík. [3]



Při využívání energie z biomasy tzv. při jejím spalování se do ovzduší uvolňuje oxid uhličitý, což není až takový problém jak by se mohlo zdát, protože při konstantní produkci biomasy do sebe rostliny při růstu znovu nashromáždí stejné množství oxidu uhličitého, jaké bylo uvolněno při jejich spalování, tudíž se jedná o uzavřený cyklus, který drží trvale hladinu oxidu uhličitého na stejné úrovni, a navíc při využití spalování bioplynu pro výrobu tepelné a elektrické energie omezíme škodlivé emise metanu, protože bioplyn se skládá hlavně z metanu ze skládek. Další výhodou je zpracování odpadů, které mohou být v nezpracované podobě toxické. Z pohledu biomasy jako zdroje elektrické energie je taky možnost ji využít jako lokální zdroj energie v místě spotřeby, což je velká výhoda pro vesnice a malá města, protože se k nim nemusejí vést elektrická vedení z klasických velkých elektráren vzdálených desítky i více kilometrů. Další výhodou biomasy z hlediska energetiky je možnost regulace výkonu bioplynových stanic a možnost uskladnění elektrické energie ve formě biomasy. [3]

K nevýhodám biomasy naopak patří zmenšení plochy orné půdy, která bude použita pro pěstování plodin k nasycení lidí a zvířat, a tudíž pro zvětšení energie získávané z biomasy musíme buď zintenzivnit produkci, nebo rozšířit produkční plochy, což má za následek zvyšování potřebných investic. Dále v současné době biomasa nemůže většinou ekonomicky konkurovat fosilním palivům bez využití dotací, a také musíme počítat se zvýšenými nároky na přepravu paliva, protože v biomase není energie tak koncentrována jako v tradičních palivech. [3]

V budoucnu se předpokládá, že by biomasa mohla nahradit podstatnou část produkce docházejících fosilních paliv jako je zemní plyn, ropa a uhlí. [2]



Obr. č. 1.: Ukázka různých druhů biomasy [6]

2.1.1 Biomasa pro energetické účely

Biomasa pro energetické účely se dá rozdělit do několika kategorií:

- 1) Fytomasa (rostlinná biomasa) s vysokým obsahem lignocelulózy
- 2) Fytomasa z olejnatých plodin
- 3) Fytomasa s vysokým obsahem cukru a škrobu
- 4) Organické vedlejší produkty a odpady živočišného původu
- 5) Směsi různých organických odpadů [3]

Z technologického hlediska pro potřeby výroby energie existují dvě formy biomasy:

a) Biomasa speciálně vyprodukovaná pro potřeby:

- 1) Produkce ethanolu (cukrová řepa, obilí, brambory, cukrová třtina)
- 2) Produkce surového rostlinného oleje a metylesterů (olejniny jako je řepka olejka)
- 3) Přímého spalování (rychle rostoucí plodiny jako je vrba, topol, černý lotos atd.) [3]

b) Odpadní biomasa

- 1) Organické zbytky z hlavní zemědělské produkce (kukuřičná a obilná sláma, zbytky z luk, pastvin, plantáží a vinic atd.)
- 2) Odpad z živočišné výroby (hnůj z farem, zbytky krmiv, mléčných produktů atd.)

- 3) Komunální organický odpad z venkovských osad (kaly z odpadních vod, různé zbytky zeleně)
- 4) Organický odpad z potravinářského průmyslu a dalších zpracovatelských průmyslů (odpad ze zpracování plodin, jatek, mlékáren, palíren, konzerváren, vináren a zbytky ze dřevozpracujícího průmyslu: dřevěné třísky, piliny, hobliny)
- 5) Odpad z lesního hospodářství (jedná se prakticky o veškerou lesní dřevní hmotu: větve, kmeny, kořeny, pařezy, kůra, různé prořezávky stromů atd.) [2,3]

2.1.2 Metody využití biomasy pro energetické účely

Využití biomasy je víceméně určeno jejími fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Důležitým faktorem je procentní množství obsažené vody v dané biomase. Tato voda je charakterizována obsahem sušiny v biomase a podle obsahu sušiny v biomase můžeme rozhodnout, zda budeme biomasu zpracovávat pomocí suchého (obsah sušiny větší, než 50%), nebo mokrého procesu (obsah sušiny menší, než 50%). V následném zpracování biomasy se využívá různých chemických a mechanických procesů, jejichž cílem je výroba nového druhu paliva, nebo přímá výroba tepla. Tepelná energie se následně může přeměnit v jiné požadované formy energie. [2,3,4]

Technologie pro získání energie z biomasy můžeme rozdělit následujícím způsobem:

a) Termochemická přeměna biomasy (suchý proces)

- 1) Zplynování
- 2) Spalování
- 3) Karbonizace
- 4) Pyrolýza [2,3,5]

b) Biochemická přeměna biomasy (moký proces)

- 1) Alkoholická fermentace
- 2) Metanolová fermentace [2,3]

c) Fyzikální a chemická přeměna biomasy

- 1) Mechanicky (štípání, drcení, lisování a peletizace)
- 2) Chemicky (esterifikace surových rostlinných olejů) [2,3]

- d) Získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (kompostování, aerobní čištění odpadních vod, anaerobní fermentace atd.) [2,3]

Dá se říct, že pro získávání energie z biomasy suchým procesem převládají různé způsoby spalování a u mokrých procesů se nejvíce využívá výroby bioplynu pomocí anaerobní fermentace. [2,3]

2.1.2.1 Zplynování

Tento způsob výroby paliva není tak nový jak by se mohlo zdát, protože je znám už od 19. století a za 2. Světové války civilní auta běžně jezdila na dřevný plyn z důvodu velké spotřeby ropy ve válečném průmyslu, po válce nastal velký odklon od tohoto paliva z ekonomických důvodů a následné vzkříšení bioplynu nastalo až za ropné krize v 70. letech 20. století.

Zplynování je proces, ve kterém dochází ke vzniku hořlavých plynů metanu, vodíku, oxidu uhelnatého a některých nehořlavých látek. Zplynování je vlastně proces částečného spalování biomasy ohříváné teplem vznikajícím ve spalovacím procesu. Jedná se o částečné spalování, protože proces probíhá v kotli za omezeného přístupu vzduchu. Vzniklá směsice plynů je vysoce energetická a může být využita pro výrobu elektřiny, tepla nebo jako palivo do motorových vozidel (o 40% nižší výkon motoru, než při použití zemního plynu). [3]

Pro výrobu elektřiny je potřeba velmi čistého plynu dodávaného do spalovacích turbín nebo motorů, ale na druhou stranu můžeme tak využít 65 – 70% energie biomasy. Pro produkci tak čistého plynu je třeba pomocných instalací, jako jsou chladiče, směsné systémy a speciálně navrhnuté reaktorové nádoby. Navíc tento systém je citlivý na to, jaký druh biomasy je použit pro spalování, což musíme při návrhu uvážit. Typicky nejlepším palivem je suché dřevěné uhlí. Elektrárna, která využívá zplynované biomasy, se skládá z těchto částí: [2,3]

- 1) Zařízení pro sušení a transport
- 2) Zplynovací reaktorová nádoba
- 3) Zařízení pro čištění a smíchávání plynu
- 4) Turbína nebo spalovací motor [2,3]

V nejjednodušších spalovacích turbínách horký odpadní plyn je vypouštěn přímo do atmosféry. V moderních instalacích se horký plyn využije pro výrobu páry, která se využije jako kogenerační jednotka pro výrobu tepla pro vytápění bytů, anebo se pára vžene do turbíny, a tak se dosáhneme zvýšení účinnosti procesu výroby elektřiny. [3,17]

2.1.2.2 Spalování

Přímé spalování je nejpoužívanější metoda využití biomasy pro energetické účely. Pro spalování lze použít široký výběr paliv od různých forem dřevěných produktů, až po komunální odpad, nicméně nejvyužívanější palivo je odpadní dřevo a zemědělský odpad (hlavně sláma). Proces spalování se používá jak pro výrobu tepla, tak i elektrické energie. [3,17]

Pro efektivní spalování následující podmínky musí být splněny:

- 1) Dostatečná teplota
- 2) Dostatek vzduchu
- 3) Dostatek času pro dosažení úplného spalování biomasy [3,17]

Jestliže při spalovacím procesu není zajištěn dostatečný přísun vzduchu, pak dochází k neúplnému spalování, které je signalizováno typickým zápachem a vznikajícím černým kouřem, který obsahuje hodně nespáleného uhlíku a část tohoto materiálu se usadí v komínu, kde může znovu vzplát. Na druhé straně, jestliže při spalování budeme dodávat vzduchu až příliš, pak dojde k poklesu teploty a značné množství nespálených plynů uniknou bez užitku komínem a sníží nám tak energetickou účinnost. Pro správné spalování tudíž potřebujeme správné množství vzduchu, které závisí na použitém komínu a na cestě jakou se vzduch dostává do místa spalování, pokud tyto podmínky splníme, pak z komínu vychází bílý kouř bez typického zápachu. [3,17]

Přímé spalování je nejjednodušší způsob pro získání energie z biomasy, ale není bohužel vždy ten nejúčinnější, protože kvůli tomu, že musíme zároveň ohřívat i vodu obsaženou v daném palivu. Pro ohřev vody na teplotu varu potřebujeme asi 400 kJ energie, což odpovídá zhruba 40 cm³ suchého dřeva. Při reálném použití s otevřeným ohněm nicméně potřebujeme i 50 krát tolik energie, což snižuje účinnost využití energie biomasy tímto způsobem až na 2%. Je to dáno tím, že hodně energie obsažená ve dřevě se vyplývá, a proto pro zvýšení účinnosti musíme správně navrhnout spalovací kotel. Moderní spalovací systémy dosahují účinnosti spalování až 70%. [3]

Pro současné uhelné elektrárny, nebo pro různé lokální topeniště se jeví jako zajímavá možnost spalování biomasy spolu s fosilním palivem, zejména pak s uhlím. Tímto způsobem je možné snížit množství škodlivých emisí. V případě uhlí je to menší podíl emisí síry, menší popelnatost, nižší spékavost a nižší obsah dioxinů. Při použití kombinovaného způsobu spalování se pohybuje podíl biomasy kolem 5 – 20%. V České republice se používá spoluspalování biomasy v následujících elektrárnách: [2,3,17]

- 1) Elektrárna Tisová
- 2) Elektrárna Dětmárovice
- 3) Elektrárna Poříčí
- 4) Elektrárna Levice
- 5) Elektrárna Hodonín
- 6) Elektrárna ve Dvoře králové
- 7) Teplárna v Plzni
- 8) Energetické centrum v Jindřichově Hradci [6]

2.1.2.3 Karbonizace

Jedná se o termickou přeměnu tuhé biomasy, bez přístupu vzduchu, jejímž hlavním produktem je dřevěné uhlí. Během procesu karbonizace dochází k odstranění těžkých složek dřeva, a tím pádem dojde k poklesu obsahu kyslíku a vodíku uvnitř dřeva a naopak dojde ke zvýšení obsahu uhlíku. Teplota, při které probíhá karbonizace má značný vliv na kvalitu dřevěného uhlí, čím větší je teplota, tím větší je obsah uhlíku ve výsledném produktu a naopak. V současné době proces karbonizace probíhá buď v karbonizačních pecích, které využívají část vsázky pro produkci tepla, anebo v retorách, do kterých je teplo dodáváno zvenčí. [2,4,5]

2.1.2.4 Pyrolýza

Pyrolýza je jednoduchá a možná nejstarší metoda přeměny biomasy na kvalitnější palivo jako je např. dřevěné uhlí. Kromě dřeva jako počátečního materiálu, může být použito i slámy. Pyrolýza se dá popsat jako proces, při němž se ohřívá biomasa na 300 – 500 °C, bez přístupu vzduchu, dokud nedojde k úniku těkavé látky. Zbývající materiál ve formě dřevěného uhlí má dvojnásobnou energetickou hustotu a lépe hoří než původní materiál. Tímto procesem je možné vytvořit 4 – 10 tun dřeva 1 tunu dřevěného uhlí v závislosti na obsahu vody.

Při dnešních moderních procesech zpracování biomasy pomocí pyrolýzy, je také možné zachytit unikající těkavé látky a dále je využít, jako např. metan pro výrobu elektřiny ve spalovacích turbínách.

Nadějným druhem pyrolýzy je také tzv. „rychlá pyrolýza“, která využívá pyrolýzy dřeva při teplotách 800 – 900 °C, kde je jen 10% biomasy přeměněno v dřevěné uhlí a až 60% původního materiálu je přeměněno na energeticky cenný plyn bohatý na vodík a oxid uhelnatý. Mezi výhody rychlé pyrolýzy patří nízké množství uvolněných škodlivých emisí v porovnání s ostatními procesy využití biomasy, ale na druhou stranu ekonomicky zatím není tahle metoda tak zajímavá. [2,4,5,17]

2.1.2.5 Fermentace

Anaerobní fermentace cukrových roztoků je metoda výroby etanolu a metanolu z biomasy. Výroba probíhá při anaerobním procesu pomocí bakteriálního rozkladu biomasy bez přístupu vzduchu. Rozklad organických zbytků probíhá kdekoliv v teplém a vlhkém prostředí a dokonce i pod vodou.

Plodiny použitelné pro alkoholickou fermentaci a metanolovou fermentaci a následnou výrobu etanolu a metanolu jsou brambory, kukuřice, cukrová třtina, cukrová řepa, ovoce, obilí a další plodiny. Účinnost fermentace závisí na stupni složitosti, s jakou jsou cukry z jednotlivých plodin získávány. Jako nejlepší plodiny se jeví cukrová třtina následována bramborami a obilninami. Cukry mohou být získány také z celulózy, ale proces je poněkud komplikovaný a musíme využít kyseliny.

Energie obsažená v etanolu a metanolu se pohybuje kolem 24 GJ/m^3 . Proces fermentace je dost náročný na teplo, které většinou získáváme spalováním rostlinných zbytků, a z toho vyplývá, že proces získávání etanolu je dost energeticky neefektivní, ale výhodou je snadná přeprava výsledného paliva.

V případě použití anaerobní fermentace z živočišných odpadů pak dochází k přeměně tuků sacharidů, bílkovin za následného vzniku bioplynu. [2,6,17]

2.2 Bioplyn

Bioplyn je produkován pomocí rozkladných procesů v organickém odpadu. Komerční využití bioplynu je velmi široké díky jeho na poměry biomasy vysoké energetické hustotě a nejnižším hodnotám škodlivých emisí při spalování. [3,5,7]

Z praktického hlediska nejjednodušší využití bioplynu je jeho spalování pro ohřev vody, další způsoby využití jsou:

- 1) Výroba elektřiny a následně tepla (kogenerace) ve spalovacích turbínách
- 2) Pohon spalovacích motorů a plynových turbín
- 3) Neenergetické využití bioplynu (např. výroba sekundárních produktů z bioplynu) [3,5]

Bioplyn se vyrábí pomocí anaerobní fermentace z různých druhů biomasy:

- 1) Rostlinná biomasa
- 2) Organický odpad a vedlejší produkty biogenního původu
- 3) Kombinace různých druhů organického odpadu [3,5]

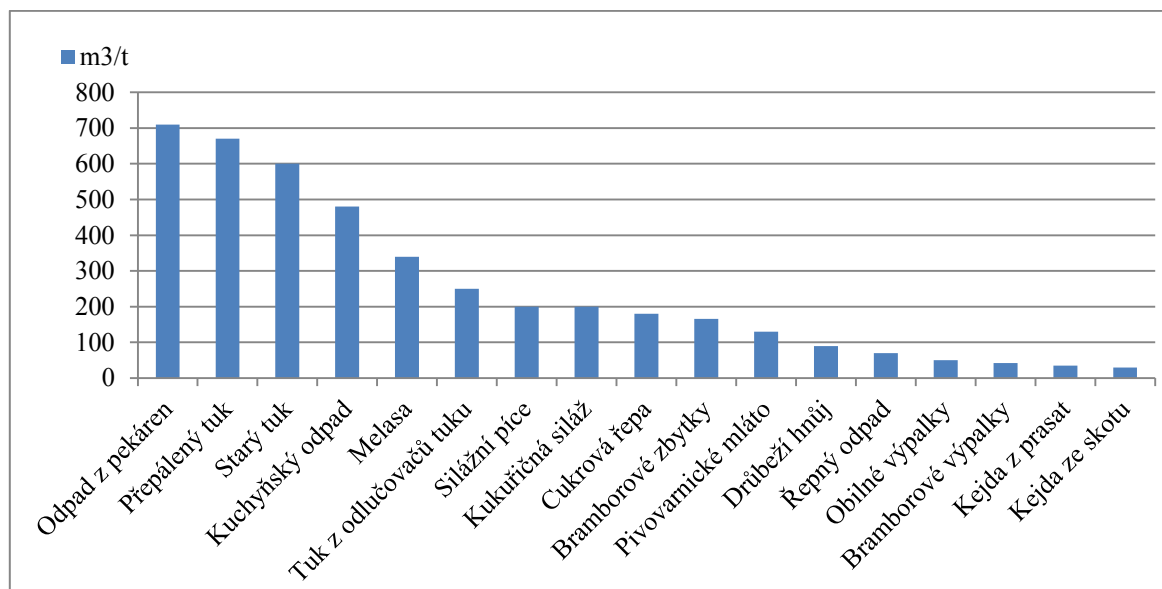
2.2.1 Výroba bioplynu

Všechny věci organického původu po odumření podléhají hnilobným procesům, a jestliže tento proces nastane v kontrolovaných podmínkách bez přístupu kyslíku, pak dojde k výrobě bioplynu. V současnosti je bioplyn získáván hlavně ze zemědělského a komunálního odpadu. Proces vzniku bioplynu lze zjednodušeně popsat touto reakcí: [2,3]



Bioplyn se skládá hlavně z metanu (50 – 75%) a oxidu uhličitého (20 – 45%), dále vodní páry (0 – 7%), sulfanů (0,2 – 4,5%) a dalších prvků. Bioplyn se získává pomocí procesu anaerobní fermentace, který můžeme z chemického hlediska rozčlenit na čtyři následující procesy: [2,5]

- 1) Hydrolýza (přeměna vlhkých organických látek na jednodušší organické sloučeniny)
- 2) Acidogeneze (přeměna vlhkých organických látek na organické sloučeniny a současně vzniká H_2 a CO_2)
- 3) Acetogeneze (přeměna organických kyselin na kyselinu octovou)
- 4) Metanogeneze (rozklad kyseliny octové na metan a oxid uhličitý a produkce metan z oxidu uhličitého a vodíku) [2,3,5]



Tab. č. 1.: Ukázka produkce bioplynu z různých druhů biomasy [3]

2.3 Bioplynová stanice

Bioplynová stanice zahrnuje komplex různých zařízení, která jsou určena ke zpracování biomasy, může v sobě zahrnovat i kogenerační jednotku. Hlavní produktem, který se snažíme ze zpracované biomasy získat je bioplyn, pomocí procesu anaerobní fermentace. Bioplynová stanice je složena z těchto základních částí: [5]

- 1) Příjmová část
- 2) Fermentor
- 3) Skladování a úprava bioplynu
- 4) Kalová koncovka [5]



Obr. č. 2.: Bioplynová stanice Meclov [6]

Bioplynové stanice můžeme dále dělit podle několika kritérií:

- 1) Provozní režim bioplynových stanic (nezávislé, společně provozované, rozsáhlá průmyslová zařízení)
- 2) Původ zpracovávaného substrátu (zemědělské bioplynové stanice, fermentační stanice)
- 3) Procentní podíl sušiny v biomase: [5]
 - Mokrý fermentace (zpracování tekuté biomasy, kde horní obsah sušiny je dán čerpatelností materiálu, což je 8 – 16% podíl sušiny v biomase)
 - Suchá fermentace (zpracování tuhé biomasy s 20 – 40% podílem sušiny v biomase) [5]

4) Teplota při, které dochází k produkci metanu:

- Psychrofilní (teplota do 20 °C)
- Mezofilní (teplota 30 – 40 °C)
- Termofilní (teplota 50 – 75 °C) [3]

2.3.1 Příjmová část

Jedná se o část bioplynové stanice, ve které probíhá úprava materiálu, v první fázi dochází k separaci inertního materiálu (sklo, kovy, písek, kameny, kusy dřeva atd.), dále dochází k míchání více druhů materiálů a následnému ředění nebo zahušťování. V inokulační části dochází k zintenzivnění fermentačního procesu a následné homogenizaci a dezintegraci materiálu. Nakonec následuje dávkování materiálu do fermentoru a hydrolýza. [3,5]

2.3.2 Fermentor

Ve fermentoru nebo soustavě fermentorů probíhá samotná výroba bioplynu. Jedná se většinou o plynotěsnou železobetonovou, kovovou či plastovou nádobu s objemem desítek až tisíců metrů krychlových vybavenou zařízením pro vnášení materiálu, odstraňování produktů fermentace, pro míchání a ohřev materiálu. Dělíme je podle druhu probíhající fermentace na: [3,5]

- 1) Mokré fermentory (používají se nejčastěji)
- 2) Suché fermentory
- 3) Fermentory využívající lagunu na tekutý materiál a reaktivní skládku [3,5]



Obr. č. 3.: Ukázka fermentoru – bioplynová stanice Čejč [7]

2.3.3 Skladování a úprava bioplynu

Bioplyn je přímo uskladněn ve vyrovnávacích plynojemech a následně upravován čištěním a sušením do podoby biometanu, který je dále využitelný jako palivo do plynových motorů a turbín.

Úkolem vyrovnávacího plynojemu je kompenzovat rozdíly mezi výrobou a spotřebou bioplynu v bioplynových stanicích. Bývá vyroben z železobetonu, kovů, plastů, či gumotextilní fólie. Podle tlaku plynu v plynojemu dělíme plynojemy na: [3,5]

- 1) S velmi nízkým tlakem (do 5 kPa)
- 2) Nízkotlaké (5 – 50 kPa)
- 3) Středotlaké (50 – 2000 kPa)
- 4) Vysokotlaké (15 – 35 MPa) [3,5]

Sušení bioplynu se provádí v zařízeních pracujících na principu tepelného čerpadla, které bioplyn ochladí, tím se zároveň odloučí kondenzát (vzniká při každém poklesu teploty v potrubí, má korozivní účinky a může ucpat potrubí), a následným přehřátím bioplynu se sníží jeho relativní vlhkost.

Odstranění oxidu uhličitého provádíme z důvodu jeho korozivních účinků a snižuje také energetický potenciál bioplynu. Samotné odstranění probíhá pomocí membránové separace, fyzikálně – chemické absorpce, ochlazováním.

Nakonec dojde ještě k odstranění sulfanu, který má korozivní účinky a nepříznivý vliv na olejové náplně motorů. Odstranění provedeme pomocí mikroarace (malé množství vzduchu se vhání do bioplynu, nebo do fermentovaného substrátu ve fermentoru), anebo pomocí oxidů železa (bioplyn je profukován prostorem naplněným zoxidovanými třískami, anebo prostorem naplněným peletkami s obsahem oxidů železa). [5]

2.3.4 Kalová koncovka

Je to výstup z bioplynové stanice, který tvoří jímka na skladování fermentovaného materiálu (digestátu), který je dále využitelný jako hnojivo. Kalová koncovka u menších bioplynových stanic může být zakončena zásobníkem s homogenizačním zařízením. V případě větších bioplynových stanic se fermentovaný materiál separuje na tuhý a tekutý podíl. Je to z toho důvodu, že tuhý podíl obsahuje větší část organické sušiny a méně živin, a naopak tekutý podíl obsahuje menší procento sušiny, ale za to větší podíl živin. Tuhá frakce se obvykle přidává do kompostů a tekutá frakce se doplní minerálními přísadami a použije se jako tekuté hnojivo, nebo jako hnojivová zálivka. K samotné separaci se používají separátory různých druhů, jako jsou bubnové, šnekové, pásové separátory a spádová síta. [2,5,6,8]

3. Kogenerační jednotka, popis funkce

Kogenerace je sdružená výroba elektrické energie a tepla, kde se nejprve využije vysokopotencionální tepelné energie k vykonání práce (výroba elektrické energie), a pak se pracovní látka o nižší teplotě použije pro pokrytí potřeb tepla. Použití kogenerace se příznivě projeví na celkové účinnosti elektrárny a zároveň je snížena spotřeba primárních energetických zdrojů pro dodávky elektřiny a tepla spotřebitelům, dále pak dojde v důsledku snížené spotřeby ke snížení množství vypouštěných emisí do ovzduší. [1]

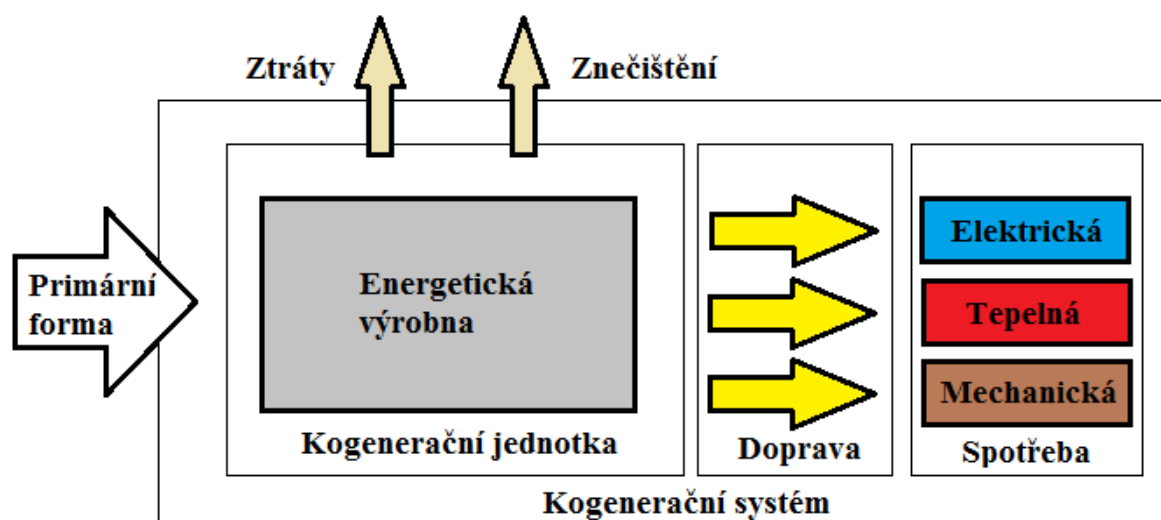
3.1 Popis funkce

Jak už bylo řečeno, systém zajišťující výrobu a dopravu elektrické a tepelné energie požadovaných parametrů se nazývá kogenerační systém. V případě, že se část tepelné energie využije k odejmutí tepla jinému médiu, pak se takový systém nazývá trigenerační. Trigenerační systém se stará, kromě výroby elektrické energie a tepla, taky o výrobu a dodávku chladu. V případě trigenerace je tento proces realizován v absorpčních chladicích jednotkách. [1,9]

Energii produkovanou v kogeneračních systémech lze využít podle požadavků spotřeby pro:

- 1) Technologické procesy
- 2) Úpravu životních podmínek [9]

Možnosti využití elektrické a tepelné energie produkovaných kogeneračními systémy jsou dány jejich vlastnostmi. [9]



Obr. č. 4.: Kombinovaná výroba energetických forem [9]

Díky intenzivnímu vývoji v posledních třiceti letech je dnes široký výběr z různých možností kogeneračních systémů, a je tudíž možno instalovat kogenerační systémy přesně podle požadavků zákazníka. Kogenerační jednotky můžeme rozčlenit podle následujících kritérií: [9]

a) Vzdálenost mezi výrobou a spotřebou:

- 1) Lokální systémy
- 2) Centrální systémy [9]

b) Podle pořadí využívání produkovaných energií

- 1) Horní kogenerační systémy
- 2) Dolní kogenerační systémy [9]

3.1.1 Lokální systémy

Lokální systémy jsou umístěny blízko místa spotřeby, mohou být provozovány energetickými výrobci a dodavateli, nebo i samotnými spotřebiteli. Energetické výrobní pracující do těchto systémů se nazývají decentralizované energetické zdroje. [1,9]

3.1.2 Centrální systémy

Jsou to velké energetické výrobní, které využívají ekonomických výhod plynoucích z toho, že se celkové náklady na výrobu jednotky elektrické a tepelné energie s velikostí výrobní snižují. Energetické výrobní pracující do těchto systémů se nazývají centralizované energetické zdroje. [1,9]

3.1.3 Horní kogenerační systémy

U těchto systémů dochází nejdříve k získání tepelné energie v energetickém zařízení. Teplo o vysoké teplotě je nejdříve využito pro technologické procesy (pece pro výrobu cementu, ocelářské pece atd.), a pak je přivedeno do tepelného motoru, který teplo převede na mechanickou práci, která se dále přemění v elektrických generátorech na elektrickou energii.

Teplo odvedené z tepelného oběhu je pak možné využít pro další tepelné účely. U těchto kogeneračních systémů jsou vyžadovány vysoké teploty, a proto jsou využívány méně než dolní kogenerační systémy. [1,9]

3.1.4 Dolní kogenerační systémy

U dolních kogeneračních systémů nejdříve dochází k výrobě elektrické energie a tepelná energie se získává z tepla odváděného z tepelného oběhu. Jsou využívány daleko ve větší míře než horní kogenerační systémy z důvodu menších pracovních teplot, a proto i většina bioplynových stanic využívá tento systém. [1,9]

3.2 Třídění kogeneračních jednotek

Kogenerační jednotku z principu můžeme rozložit do čtyř základních stavebních bloků, a to:

- 1) Zařízení pro úpravu primárního zdroje energie
- 2) Primární jednotky
- 3) Zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie
- 4) Zařízení pro rekuperaci elektrické energie [1,9]

3.2.1 Zařízení pro úpravu primárního zdroje energie

Provádí se zde úprava paliva, které slouží jako zdroj energie pro pohon primárních jednotek. Úprava paliva se provádí z důvodů zušlechtění, úpravy prvkového složení a podmínek pro použití paliva. Co se týká bioplynových stanic, tak ty často už v sobě zahrnují kogenerační jednotku, tudíž samotná úprava paliva se provádí ve stejném areálu jako výroba tepelné a elektrické energie.

Pomocí zušlechtění paliva se dosahuje zvýšení energie v objemové nebo hmotnostní jednotce paliva, či z důvodů homogenizace paliva. Zušlecht'ovací procesy paliva mohou být provedeny už samotným dodavatelem, nebo se provádějí příslušným zřízením před vstupem do kogenerační jednotky.

Úpravou prvkového složení se mění obsah složení paliva. Nejčastěji se provádí odstranění nežádoucích příměsí jako je voda, oxid uhličitý, různé pevné částice a síra, anebo provádíme zvýšení koncentrace reagujících prvků.

Úpravou podmínek pro použití paliva se zabezpečí vhodný způsob dopravy paliva do kogenerační jednotky (regenerační tepelný okruh), nebo se vylepšují podmínky pro uvolnění energie z paliva (teplota, tlak). [1,9]

3.2.2 Primární jednotky

Jedná se o část kogeneračního systému, ve kterém dochází k přeměně chemické energie obsažené v palivu na energii mechanickou, popřípadě elektrickou. Uvolněné nebo zbytkové teplo se dále používá pro vytápění. Primární jednotky dělíme podle způsobu transformace energie na:

- a) Primární jednotky využívající přímého způsobu přeměny energie
- b) Primární jednotky využívající nepřímého způsobu přeměny energie [1,9]

3.2.2.1 Primární jednotky využívající přímého způsobu přeměny energie

Princip přímé přeměny energie využívá systém s palivovými články, kde dochází k přímé přeměně elektrochemické energie na elektrickou. Princip činnosti funguje tak, že se na anodu přivede palivo, to zde oxiduje, a atomy paliva zde ztrácejí elektrony z valenční sféry. Uvolněné elektrony představují elektrický proud, který se pohybuje ke katodě. Na katodu, na kterou se přivádí okysličovadlo, naopak probíhá redukce (atomy okysličovadla přijímají volné elektrony) za současné reakce s kationty, které k ní pronikají elektrolytem. Náboj na elektrodách vytvoří rozdíl potenciálů na elektrodách. [1,9]

Palivové články můžeme rozdělit podle následujících kritérií:

- 1) Typ elektrolytu (články alkalické, s tuhými polymery, s roztavenými uhličitany a s tuhými oxidy)
- 2) Typ iontové vodivosti (kationtová, aniontová)
- 3) Pracovní teplota (studené do 200 °C, teplé do 1000 °C) [9]



Obr. č. 5.: Systém kogenerace využívající palivové články firem Panasonic, Viessman [6]

K hlavním přednostem palivových článků patří jejich dobrá účinnost (40-45% energie se přemění na elektřinu, 35-40% na teplo a 20% na se využije pro pohon systému), nízké opotřebení, dlouhá životnost (až desetitisíce hodin), schopnost snášet velká přetížení (krátkodobě až stovky procent).

Naopak mezi nevýhody lze uvést nutnost udržování stálé teploty a tlaku aktivních médií, dále potřeba kontinuálně odstraňovat zplodiny z chemických reakcí (vodní pára či jiné produkty oxidace) [9]

3.2.2.2 Primární jednotky využívající nepřímého způsobu přeměny energie

Jedná se o proces uvolnění tepelné energie z paliva. Zisk technické práce se realizuje neustálým tepelným oběhem pracovní látky, která obíhá mezi zdrojem tepla a tepelným motorem.

Pracovní látka je buď neustále dodávána nová, nebo dohází k opakovanému oběhu. Podle těchto kritérií se tepelný oběh rozděluje na: [1,9]

- 1) Otevřený (pracovní látka je v plynném skupenství)
- 2) Uzavřený (operuje se zde z pracovní látkou, ve které dochází ke změně skupenství), typicky voda – vodní pára) [1,9]

Podle typu pohonné jednotky využívající nepřímé přeměny energie:

- 1) Parní turbíny
- 2) Spalovací turbíny
- 3) Mikroturbíny
- 4) Spalovací motory
- 5) Parní motory
- 6) Stirlingovy motory
- 7) Paroplynová zařízení [1]

Parní turbína se jako motor pro kogenerační jednotky používá dlouhá léta. Nejjednodušší uspořádání je provedení s protitlakou turbínou, kde pára má po průchodu turbínou relativně nízký tlak a slouží k dalšímu teplotěnskému využití. Investičně jsou tato zařízení velmi nákladná z důvodu požadavku vysokých teplot a tlaků páry, dále pak mají malý elektrický výkon vztažený na jednotku dodávaného tepla, ale na druhou stranu se vyznačují velkou celkovou účinností. [1]



Obr. č. 6.: Ukázka parní turbíny [6]

Spalovací turbína pracuje tak, že kompresor nasaje vzduch z atmosféry a stlačí ho. Stlačený vzduch se přivádí do spalovací komory, kde dochází ke spalování paliva. Tím vzniknou spaliny o velké teplotě a tlaku, které pak expandují v plynové turbíně a po východu z turbíny jsou užity k ohřevu vody nebo výrobě páry. Plynová turbína pohání přímo kompresor a přebytek výkonu se použije pro pohon generátoru elektrické energie. Spalovací turbíny jsou menší při stejném výkonu, než parní turbíny a mají i nižší pořizovací náklady, ale na druhé straně vyžadují velmi čisté palivo, jsou velmi hlučné, mají horší účinnost, než spalovací motory a dále s klesajícím zatížením se zhoršuje jejich účinnost. [1]

Mikroturbíny jsou malé vysokootáčkové spalovací turbíny většinou do výkonu 250 kW. Mikroturbíny jsou menší než konvenční spalovací motory a mají nižší pořizovací náklady, nižší náklady na údržbu a nižší produkci emisí NO_x . [1]

Spalovací motory pro kogenerační účely se používají pístové s vnitřním spalováním a dělí se podle způsobu zapálení směsi vzduchu s palivem na vznětové a zážehové. U vznětových motorů dochází k samovznícení paliva při vstřiku do horkého stlačeného vzduchu. Účinnost vznětových motorů na hřídeli je 35 – 45%. V případě zážehových motorů se směs paliva a vzduchu zapálí pomocí jiskry. Účinnost zážehových motorů na hřídeli je 27 – 43%. Pro kogenerační účely musí být spalovací motory konstruovány pro spalování zemního plynu nebo bioplynu, kde nejvýhodnějším využitím odpadního tepla je ohřev vody na 90 °C.

Při provozu spalovacích motorů vznikají nevyvážené síly, které se musí eliminovat správným uložením na vibrace eliminující základ, dalším problémem je hluk, zejména nízkofrekvenční složky, které se musí eliminovat hlukovou izolací.

Plynové spalovací motory pracují buď s velkým přebytkem vzduchu (nízká účinnost, nízký výkon, nízké emise NO_x , ale vyšší obsah CO a nespálených uhlovodíků vede někdy ke spalovací nestabilitě) nebo s malým přebytkem vzduchu (velká účinnost, velký výkon a vysoké emise NO_x).

V praxi se nejčastěji používá něco mezi těmito dvěma systémy, pro zajištění co nejlepšího poměru mezi výstupním energetickým výkonem a množstvím produkovaných škodlivých spalín. [1]



Obr. č. 7.: Kogenerační jednotka GE Jenbacher 320 se zážehovým motorem [6]

Parní motory jsou objemové parní stroje, které se skládají z bloku motoru, válců, pístů a šoupátkového rozvodu. Výhodou oproti parním turbínám je možnost zpracování menšího množství páry při větším tlakovém spádu. [1]

Stirlingův motor je navržen jako uzavřený cyklus, kde pracovní látka (nejčastěji hélium, nebo vodík) je stlačována ve studené části motoru a expandována v teplé části. Výsledkem je přeměna tepelné energie na mechanickou. Na rozdíl od spalovacích motorů nedochází zde k výměně pracovní látky. V pracovním prostoru je uzavřeno stále stejné množství plynu, které je opakovaně přemísťováno mezi horkou a studenou komorou, a teplo je k pracovní látce přiváděno z vnějšku. Výhodami Stirlingova motoru je dobrá účinnost, spolehlivost, tichý chod a nízké emise škodlivých plynů. Nevýhodou naopak je vyšší složitost zařízení, vyšší měrná hmotnost na jednotku výkonu a zabezpečení plynůstnosti prostoru válců. [1,9]



Obr. č. 8.: Ukázka Stirlingova motoru [6]

Paroplynová zařízení jsou sestavena ze spojení spalovací turbíny a pracovního okruhu parní turbíny v jeden celek. Výhodou oproti parním turbínám je vyšší produkce elektrické energie na úkor tepelné, menší velikost a investiční náklady, větší provozní pružnost a oproti spalovacím turbínám mají výhodu ve vyšší výrobě elektrické energie a snadnější optimalizaci provozu. [1]

3.2.3 Zařízení pro výrobu a úpravu energie

Zařízení pro výrobu a úpravu energie je tvořeno elektrickým generátorem, popřípadě ještě elektrický kondicionérem.

Elektrický generátor slouží k přeměně mechanické energie vyrobenou tepelným motorem na elektrickou. Generátory mohou být stejnosměrné i střídavé. Stejnosměrné generátory pracují samostatně do elektrické zátěže spotřebitele bez spolupráce z distribuční sítě elektrické energie, střídavé generátory naopak mohou spolupracovat s elektrizační soustavou. V případě jednotek menších výkonů se používá asynchronní generátor, který nemá budicí zařízení, a tudíž jeho cena je nízká. V případě použití synchronního generátoru zase můžeme do sítě buď dodávat, anebo odebírat jalovou složku elektrické energie podle potřeby.

Elektrický kondicionér neboli měnič je sestaven s polovodičových prvků a používá se u primárních jednotek v případě, kdy je potřeba upravit parametry elektrického proudu (změna frekvence nebo transformace stejnosměrného proudu na střídavý). [1,9]

3.2.4 Zařízení pro rekuperaci tepelné energie

Slouží pro transformaci odváděného tepelného výkonu kogenerační jednotky na požadované parametry a formu. Mezi nejběžnější teplotně tepelná média vystupující z rekuperačních výměníků lze zařadit: [9]

- 1) Nízkoteplotní voda (teplota 100 °C)
- 2) Vysokoteplotní voda (teplota 150 -200 °C)
- 3) Vodní pára
- 4) Teplý vzduch [9]

3.3 Kogenerační jednotky využívající biomasu

Kogenerační jednotky na biomasu jsou většinou navrženy jako dolní kogenerační systémy využívající jako pohonnou jednotku nejčastěji pístové spalovací motory. Každý kogenerační

systém využívající at' už biomasu, anebo klasická fosilní paliva, sestává ze čtyř základních technologických celků, které jsou: [1,9]

- 1) Pohonná jednotka (motor)
- 2) Elektrický generátor a zařízení pro připojení na síť
- 3) Výměník tepla nebo kotel včetně propojení na tepelnou rozvodnou síť
- 4) Kontrolní a řídicí systém [1,9]

Jako zdroj energie kogeneračních jednotek využívajících biomasu se využívá jak přímé spalování biomasy, tak i zplynování biomasy a její následné využití ve formě bioplynu. Mezi základní typy kogeneračních systémů na biomasu patří: [1]

- 1) Teplárna s parní turbínou, či parním motorem
- 2) Kombinovaná zařízení s olejovým kotlem
- 3) Zařízení využívající spalovacích motorů a spalovacích turbín na bioplyn [1]

3.3.1 Teplárna s parní turbínou, či parním motorem

Tento systém se používá pro přímé spalování biomasy. Využívá se buď spalování biomasy na roštu (používá se častěji), nebo ve fluidní vrstvě.

Nejjednodušší a taky nepropracovanější provedení tepelného zdroje na biomasu jsou výtopny s teplovodními nebo horkovodními kotli, kdy při použití parní turbíny nastává několik změn oproti klasické teplárně. Kotle musí být provedeny na tlak alespoň 1,6 MPa s mírným přehřátím páry (při použití parního motoru dostačuje sytá pára), dále je pozměněna konstrukce vlastního kotle, systému odvodnění, chemické úpravy vody atd. To vše vede k tomu, že oproti klasickým teplárnám na fosilní paliva vzrostou investiční náklady a obestavěný prostor. [1]

3.3.2 Kombinovaná zařízení s olejovým kotlem

Jestliže je palivem malých tepelných zdrojů zemní plyn, není problém souběžně s dodávkou tepla vyrábět i elektřinu pomocí spalovacích motorů nebo mikroturbín. Tyto technologie není možné použít, využíváme – li přímého spalování biomasy. Pokud bychom chtěli využít parní turbínu, je potřeba zvolit co největší tlak páry. Se zvyšujícím se tlakem se zmenšuje měrný objem páry a u zařízení malého jednotkového výkonu není možné realizovat účinně pracující turbínu s malým průtočným objemem páry. [1]

Jednou z možností jak tuto nevýhodu překonat je použití pracovního cyklu s organickou látkou. Takový systém je např. vyvinut firmou Turboden, která používá speciální silikonový olej. Tato látka má pro dané účely lepší vlastnosti než voda (vysoké teplotě varu odpovídá poměrně nízký tlak par, a tudíž dostatečně velký měrný objem pro konstrukci efektivní turbíny). Pracovní cyklus tohoto systému je založen na principu Rankin – Clausiova cyklu obdobnému jako u klasické parní turbíny.

Výhodami tohoto systému je vysoká termodynamická účinnost turbíny (85%), vyšší elektrická účinnost (v kogeneračním provedení asi 18%), neexistence eroze průtočné části turbíny, dlouhá životnost a nízké náklady na údržbu, nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady z důvodu použití již zmíněného silikonového oleje pro pracovní cyklus. [1]

3.3.3 Zařízení využívající spalovacích motorů a spalovacích turbín na bioplyn

Pro kogeneraci s využitím spalováním bioplynu se používá vznětových, zážehových motorů a spalovacích turbín. Tyto pohonné jednotky jsou konstrukčně velmi podobné jejich protějškům využívajících zemní plyn, jejich odlišnosti jsou dány složením použitého paliva (hlavně podíl metanu v palivu).

Zajímavou, ale nepříliš rozšířenou možností je využití emisí CO_2 vznikajících při spalování bioplynu jako zdroj uhlíku pro růst rostliny. Emise ze spalovacího procesu, obsahující vysoký podíl oxidu uhličitého, jsou nejdříve pomocí katalitických reakcí vyčištěny, a poté, co předají svoji energii ve spalínovém výměníku, jsou vháněny pomocí dmyhadla do skleníku, kde se nacházejí příslušné rostliny. Ve skleníku dochází k růstu obsahu oxidu uhličitého, až dosáhne určité meze, odvedou se spaliny pomocí řídicí jednotky a soustavy škrtecích ventilů do komína. [1,6]

4. Vliv proměnlivého výkonu obnovitelných zdrojů na distribuční síť

Obnovitelné zdroje energie jsou z hlediska přeměny energie jedním z nejčistších zdrojů, jelikož při výrobě elektrické a tepelné energie nevznikají téměř žádné zplodiny. Další jejich výhodou je, že se jedná prakticky o nevyčerpatelný zdroj energie, naopak se u nich potýkáme s problémy, jako je ekonomická nevýhodnost v porovnání s fosilními palivy (pokud nezapočítáváme dotace) a kolísání jejich výkonu v průběhu roku. V následující kapitole se budu věnovat zejména vlivu proměnlivého výkonu fotovoltaických a větrných elektráren na distribuční síť. [1,9,17]

4.1 Centralizovaná a decentralizovaná výroba elektrické energie

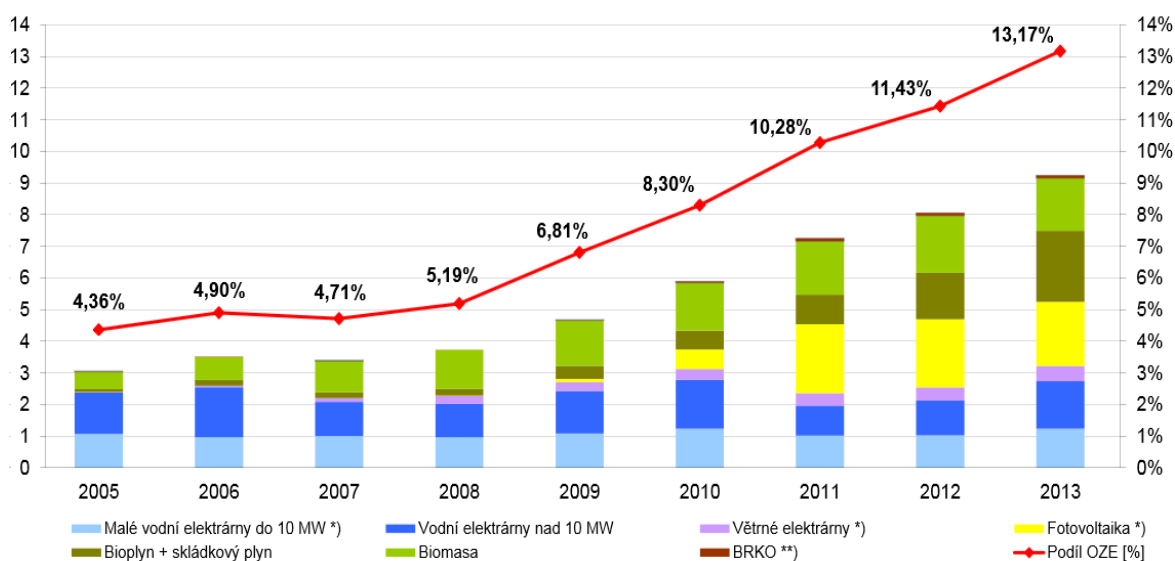
Na území České republiky se většina elektrické energie vyrobí ve velkých centralizovaných elektrárnách z fosilních paliv a uranu. Jak už bylo řečeno v kapitole zabývající se kogeneračními jednotkami, centralizovaný způsob výroby energie se vyznačuje větší efektivitou výroby jednotky elektrické energie v poměru na množství spotřebovaného paliva, a dále jsme schopni lépe předvídat charakter průběhu výroby elektrické energie, a tím pádem můžeme do značné míry jejich výkon regulovat. Nevýhodou je, že velké centralizované elektrárny jsou od místa spotřeby značně vzdáleny, tudíž musíme počítat s většími ztrátami při přenosu elektrické energie. [9,17]

Na druhé straně decentralizovaná výroba elektrické energie je tvořena spoustou menších výroben blíže místa spotřeby, tudíž se nám snižují ztráty při přenosu elektrické energie vedením do místa spotřeby. Decentralizovaná výroba má velký vliv na charakter napětí v síti, toky výkonů, kvalitu elektrické energie, chránění elektrických sítí, bezpečnost a spolehlivost. Závisí to na mnoha faktorech určených především typem provedení a parametry zdroje elektrické energie a také typem distribuční soustavy, do které je připojen. Mezi nejčastější decentralizované zdroje patří větrné, vodní, fotovoltaické elektrárny a kogenerační jednotky. Využívání těchto zdrojů sebou ale přináší několik problémů. Zejména co se týká predikce výroby elektrické energie u fotovoltaických a větrných elektráren. [9]

4.2 Stabilita distribuční sítě

Česká republika patří, co se týče stability a spolehlivosti elektrické rozvodné a distribuční sítě, mezi nejlepší v Evropě, díky tomu civilní obyvatelstvo ještě nikdy nepocítilo v plné míře účinky blackoutu (rozsáhlý výpadek elektřiny) z důvodu nestability v elektrické soustavě. [10,13]

Nicméně s masivním rozšířením obnovitelných zdrojů, které probíhalo hlavně v letech 2008 – 2011 z důvodu neadekvátně velkých dotací na tento typ výroby elektrické energie, se riziko blackoutu stává reálným i v našich podmínkách. Nejvíce to jde vidět na příkladu fotovoltaických elektráren, kdy v letech 2009 - 2011 vyrostly na území České republiky fotovoltaické elektrárny s větším instalovaným výkonem, než za stejné období ve Spojených státech amerických. Přitom Spojené státy mají asi 32 krát více obyvatel a taky mají daleko lepší podmínky, co se týče využitelnosti solárních panelů díky tomu, že se na jejich území nalézají rozsáhlá pouštní území, zejména pak ve státech Arizona, Nevada, Texas. [10,13]



Tab. č. 2.: Vývoj výroby elektřiny z OZE a její podíl na hrubé domácí spotřebě [10]

Velký nárůst instalovaného výkonu u obnovitelných zdrojů potom negativně ovlivňuje provoz celé elektrizační soustavy, zejména pak požadavek na rovnováhu mezi výrobou a spotřebou.

Účelem distribuční sítě bylo vždy zajištění dodávky elektrické energie jednotlivým odběratelům (zajištění jednostranného toku elektrické energie z předávacích míst přenosové soustavy k odběrateli). S velkým rozmachem obnovitelných zdrojů, dochází k tomu, že elektrická energie neteče jenom k odběrateli, ale i od odběratele zpět do elektrické soustavy a velikost těchto toků se v čase mění. [11]

Negativní dopady na stabilitu elektrizační soustavy pak má hlavně provoz větrných a fotovoltaických zdrojů z důvodu špatné předvídatelnosti a regulovatelnosti jejich výkonů, v menší míře to platí i pro malé vodní elektrárny, u kterých musíme počítat s proměnlivým výkonem

v průběhu roku v závislosti na vodních srážkách. Zdroje postavené na principu využití biomasy jsou z hlediska predikce a regulace výkonu na velmi dobré úrovni, tudíž můžeme počítat s odchylkami mezi plánovanou a skutečnou výrobou v řádech několika procent. [10,11]

Nevýhodou neřízených obnovitelných zdrojů elektrické energie jako jsou větrné a fotovoltaické elektrárny je to, že v jednu chvíli dodávají do sítě téměř svůj plný instalovaný výkon a o pár minut později jejich výkon může klesnout na několik procent jejich plného instalovaného výkonu. Tyhle výkyvy musíme pak draze korigovat náhradními elektrickými zdroji, které jsou schopny v případě potřeby rychle kompenzovat výkyvy výkonů v síti. [11]

4.3 Zpětné vlivy obnovitelných zdrojů na distribuční síť

Aby nedocházelo k rušení dalších odběratelů v distribuční soustavě, musí dojít k omezení zpětných vlivů lokálních výroben využívajících obnovitelných zdrojů na síť.

„Bez další kontroly zpětných vlivů mohou být výroby připojeny, pokud poměr zkratového výkonu sítě S_{kv} ke jmenovitému výkonu celého zařízení S_{ra} je větší, než 500.“ [2]

Pokud výrobce nechá své zařízení ověřit v příslušném certifikovaném institutu, pak lze připojovací podmínky upravit pro příznivější činitel $S_{kv}/S_{rG} (< 500)$, kde S_{rG} je zdánlivý výkon generátoru výrobní jednotky. [2]

Pokud se jedná o individuální posouzení jedné, či více výroben v jednom napájecím bodu, je třeba vycházet z následujících mezních podmínek: [2]

- 1) Změna napětí
- 2) Kolísání napětí
- 3) Proudby harmonických vyšších řádů
- 4) Vliv na zařízení HDO (hromadné dálkové ovládání) [2]

4.3.1 Změna napětí

Z hlediska dovoleného napětí pro společný napájecí bod pro síť nízkého napětí platí podmínka: [2]

$$\Delta u_{nn,max} \leq 3\% [V, \%] \quad (2.1)$$

Co se týká změny napětí pro společný napájecí bod v sítích vysokého napětí, tak tam platí podmínka: [2]

$$\Delta u_{vn,max} \leq 2\% [V, \%] \quad (2.2)$$

4.3.2 Kolísání napětí

Kolísání napětí, neboli tzv. flickr efekt, jde o rychlé periodické kolísání napětí, tento jev se nejvíce projevuje u svítidel, kde způsobuje časté změny světelného toku, což má negativní vliv na lidskou psychiku. Další aplikace, kde se negativně projevuje flickr efekt: [12, 13]

- 1) Elektrické stroje (změna otáček, skluzu, nadměrné vibrace a mechanické opotřebení)
- 2) Zařízení pro elektrolýzu (zkracuje se doba životnosti a provozní účinnost)
- 3) Zařízení pro elektrický ohřev (snížení provozní účinnosti)
- 4) Statické usměrňovače (pokles účinníku na stejnosměrné straně) [12,13]

Účinek kolísání napětí závisí hlavně na amplitudě a je ovlivňován charakteristikou energetického systému a počtem jeho výskytů, což je dáno jeho technologickým procesem (typ zátěže, charakter provozu). Omezení vlivu kolísání napětí je zřídka provedeno pomocí úpravy technologických procesů, v daleko větší míře se používá omezení kolísání amplitudy napětí pomocí: [12]

- 1) Zvýšení zkratového výkonu v bodě připojení kolísavé zátěže
- 2) Omezení změn jalového výkonu v napájecí síti [12]

V současné době se nejčastěji pro posouzení kolísání napětí používá veličin jako je krátkodobá míra vjemu flickru P_{st} a dlouhodobá míra vjemu flickru P_{lt} . Pro společný napájecí bod na nízkém i vysokém napětí platí, že P_{lt} nesmí překročit hodnotu 0,46. [2,12]

Pro výrobu s více jednotlivými zařízeními je potřeba vypočítat hodnotu P_{lt} pro každé zařízení zvlášť podle vztahu: [2]

$$P_{lt,res} = \frac{P}{\sum_i P_{lt,i}^2} [-] \quad (2.3)$$

4.3.3 Proudý harmonických vyšších řádů

Proudy harmonických vyšších řádů jsou celistvými násobky kmitočtu, na které je navržena provozovaná síť.

Vznikají především u zařízení vybavených střídači nebo měniči frekvence, ale také u různých generátorů tvořících rozhraní zdroje s elektrickou sítí. Mezi negativní vlivy harmonických vyšších řádů patří: [13]

- 1) Vyšší ztráty na přenosových cestách
- 2) Zvýšené náklady kvůli zatížení sítě jalovým výkonem
- 3) Nutnost předimenzování vedení a části zařízení kvůli většímu tepelnému namáhání
- 4) Nebezpečí pro zařízení citlivá na správnou úroveň napětí (systémy řízení provozu, měřicí zařízení, řídicí komponenty atd.) [13]

Jak je vidět proudy harmonické vyšších řádů nám můžou způsobovat značné problémy, proto je třeba je kompenzovat pomocí: [13]

- 1) Pasivních filtrů (tlumivky, 12 a 18 pulzní usměrňovače)
- 2) Aktivních filtrů (např. aktivní filtr Danfos VLT Active Filter AHF 04) [13]

Proudy harmonických vyšších řádů emitovanými příslušnými zařízeními musí udat výrobce, např. zprávou o typové zkoušce. Tato hodnota by neměla překračovat 5% a měla by být dostačující k tomu, aby nedocházelo k nepříznivému ovlivňování jiných zařízení připojených do distribuční sítě. [2]

4.3.4 Vliv na zařízení HDO

HDO je zkratka pro hromadné dálkové ovládání pro regulaci energie na dálku. Zařízení HDO jsou nejčastěji provozována na frekvencích 183,3 – 283,3 Hz a vysílací úroveň se obvykle pohybuje v rozhraní 1,6 – 2,5% jmenovitého napětí.

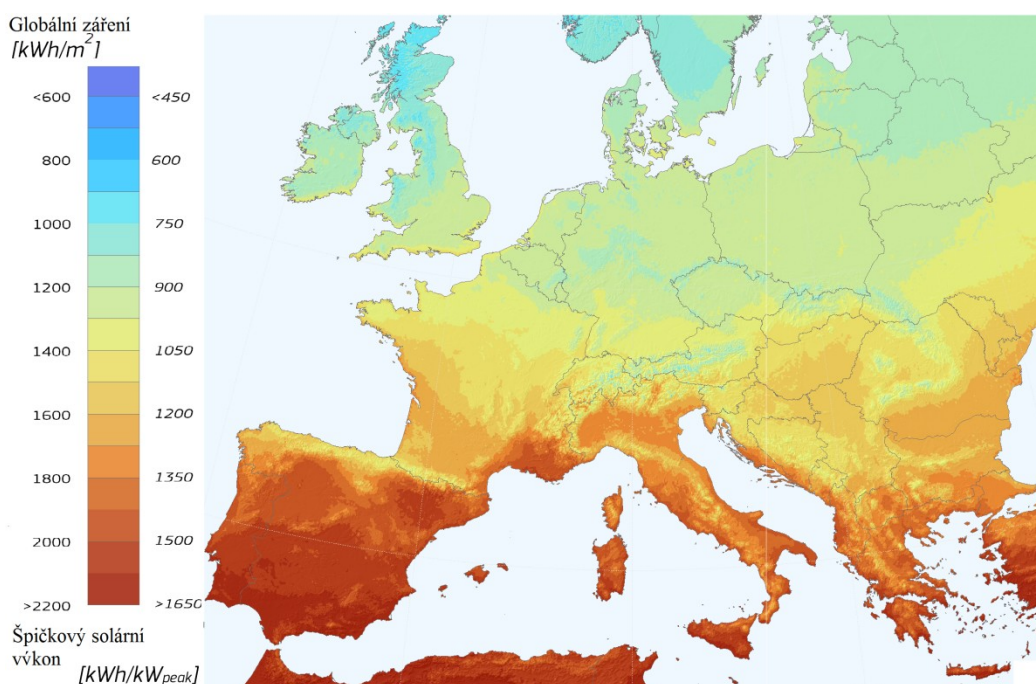
Vliv na zařízení HDO mají hlavně výroby a zařízení pro kompenzaci účinníku. „Výroby připojované k síti mimo přípojnici, do níž vysílá HDO, smí způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5%, za předpokladu, že i po tomto snížení bude dodržena minimální hodnota signálu HDO určená týdenním měřením“. [2]

4.4 Vliv proměnlivého výkonu slunečních elektráren na distribuční síť

Fotovoltaická elektrárna se skládá z jednotlivých fotovoltaických panelů, které pracují na principu fotoelektrického jevu, při kterém získáváme elektrickou energii ze slunečního záření. [3]

Jedná se z hlediska ekologie o velmi čistý zdroj energie, ale co se týče masivního využití tohoto způsobu výroby energie na území České republiky, tak to je poněkud diskutabilní, protože je to špatně predikovatelný zdroj co se výkonu týče, a také podle solární mapy je jasné vidět, že území střední, východní a severní Evropy není pro tento typ výroby energie příliš vhodný, a přesto jsme se stali, v poměru zastavěné plochy solárními panely k velikosti České republiky, evropskou, ne-li světovou velmocí.

Původní vizí při podpoře fotovoltaiky bylo to, aby si lidé postavili na střeše pár fotovoltaických panelů pro vlastní spotřebu (ohřev vody, výroba elektřiny) a v případě přebytku vyrobené elektrické energie se tato energie poslala do sítě, a ne výstavba rozsáhlých fotovoltaických parků, které do sítě dodávají poněkud nepředvídatelně velké množství energie, podle intenzity dopadajícího slunečního záření. [2,4,13]



Obr. č. 9.: Mapa intenzity slunečního záření [14]

Jak už bylo řečeno fotovoltaické panely malých výkonů instalované na rodinných domech (řádově jednotky kW) nemají na distribuční síť větší vliv, protože se většina vyrobené energie spotřebuje v místě výroby. Problém může ale nastat, pokud velký počet těchto malých zdrojů je

připojen na síť 400 V napájenou jedním transformátorem 22/04 kV, pak při plném slunečním záření může dojít k přetoku energie na vyšší napěťovou hladinu, pokud není dostatečný odběr domácností ze sítě. [2,4]

Daleko větší vliv mají na distribuční soustavu fotovoltaické elektrárny o výkonech v řádech MW, kde rychlé změny výkonu mohou mít za následek kolísání napětí v místě připojení, zvětšení výskytu harmonických vyšších řádů, zvětšení zkratových poměrů a negativní dopady na stabilitu celé sítě. Další takové velké negativum je nebezpečí ostrovního režimu, kdy při poruše v síti dojde za určitý čas k automatickému odpojení příslušné části sítě, ale v případě fotovoltaických elektráren může nastat situace, kdy i po odpojení poruchového úseku fotovoltaická elektrárna dál dodává do sítě elektrickou energii.

Pokud budeme i nadále vyžadovat, aby větší množství elektrické energie bylo vyráběno v těchto velkých fotovoltaických elektrárnách, pak musí dojít ke stavbě nového elektrického vedení, které nebude po většinu času vytížené a bude tudíž dovolovat přesun velkých toků elektrické energie z místa jejího přebytku do místa jejího nedostatku (např. na části území státu je slunečno na druhé části je zataženo), a dále musí dojít k výstavbě značného množství měřících transformátorů, abychom včas zjistili výkonové poměry v daném místě sítě. [2,11]

4.5 Vliv proměnlivého výkonu větrných elektráren na distribuční síť

Princip větrné elektrárny spočívá v přeměně kinetické energie pohybujícího se vzduchu na mechanickou práci.

Využití větrné energie přináší celou řadu problémů jako je špatná predikovatelnost síly a směru větru, a dále větrné elektrárny nejsou schopny vyrábět elektřinu při rychlostech větru pod 3 m/s a při rychlostech větru větších než 25 m/s jsou odpojovány ze sítě, z toho vyplývá, že větrné elektrárny mohou pracovat pouze nevelkou část roku (v našich podmínkách 10 – 20 % roku). Další problémy spočívají ve vyšších nákladech na výrobu jednotky elektrické energie (tento problém je kompenzován dotacemi). [2]

Obecně můžeme vlivy větrných elektráren na elektrizační soustavu rozdělit na vlivy:

- 1) Lokální
- 2) Systémové [2]

4.5.1 Lokální vlivy větrných elektráren na elektrizační soustavu

Lokální vlivy jsou způsobeny především připojením generátoru větrné elektrárny k distribuční soustavě, dále parametry přípojného bodu distribuční soustavy a volbou měřicího a řídicího zařízení. Provozovatel distribuční soustavy stanoví způsob připojení k síti podle daných síťových poměrů, výkonu a způsobu provozu vlastní výroby. Mezi základní sledované lokální vlivy lze zařadit: [2]

- 1) Kolísání napětí
- 2) Přetěžování sítí
- 3) Zvýšení zkratových poměrů
- 4) Kvalita dodávky elektrické energie (výkonová elektronika, která je součástí elektráren může být zdrojem harmonických vyšších řádů, a případné rušení HDO) [2]

Při použití větrných elektráren vybavených asynchroním motorem s kotvou nakrátko a tyristorovým měničem může dojít při náhlé změně momentu na hřídeli v okamžiku připojení elektrárny na síť k deformaci proudu a napětí v místě připojení. V případě použití větrné elektrárny s asynchronním generátorem s kroužkovou kotvou a měničem frekvence je proudový ráz maximálně třetina jmenovitého proudu na generátoru. [2, 4]

4.5.2 Systémové vlivy větrných elektráren na elektrizační soustavu

Systémové vlivy se projevují při připojení většího množství větrných elektráren k distribuční síti. Může dojít ke snížení přenosové schopnosti vedení na mezinárodních profilech. Z hlediska systémových vlivů jsou kontrolovány následující vlastnosti: [2]

- 1) Začlenění větrných elektráren do diagramu zatížení (výroba energie závisí na povětrnostních podmínkách)
- 2) Chování větrných elektráren při blízkých zkratech v přenosové soustavě a při velkých poruchách (riziko plošných výpadků větrných elektráren připojených do přenosové soustavy)
- 3) Dopad na stabilitu elektrizační soustavy (větrné parky mohou mít výrazný dopad na stabilitu chodu sítě v případě poruch a nárazových poryvů větru) [2]

Výhodou oproti fotovoltaickým elektrárnám je to, že dodávají energii i v noci, na druhou stranu predikce výkonu je stále problém, ale nedochází zde k tak strmému kolísání výkonu

v porovnání s fotovoltaikou, kdy pokles výkonu u větrných elektráren o více než o 50 % je otázkou hodiny a více. Nicméně je třeba dodat, že tohle je záležitost hlavně velkých větrných elektráren s výkony v řádech MW (větší hmotnost listů vrtule, tudíž větší setrvačnost).

Naopak nevýhodou je problematičtější výběr lokalit pro výstavbu, protože místa z hlediska povětrnostních podmínek vhodná pro výstavbu velkých větrných elektráren se nacházejí mimo místa s rozvinutou infrastrukturou, a proto je nutné vybudovat nová vedení o délce často až desítky kilometrů do nejbližší rozvodny.[2]

4.6 Stochastika větrných a slunečních elektráren

Stochastika pracuje s pravděpodobností a matematickou statistikou a zabývá se zkoumáním a modelováním nahodilých událostí. V mém případě touto nahodilou událostí je kolísání slunečního záření a rychlosti větru v daném čase. [15]

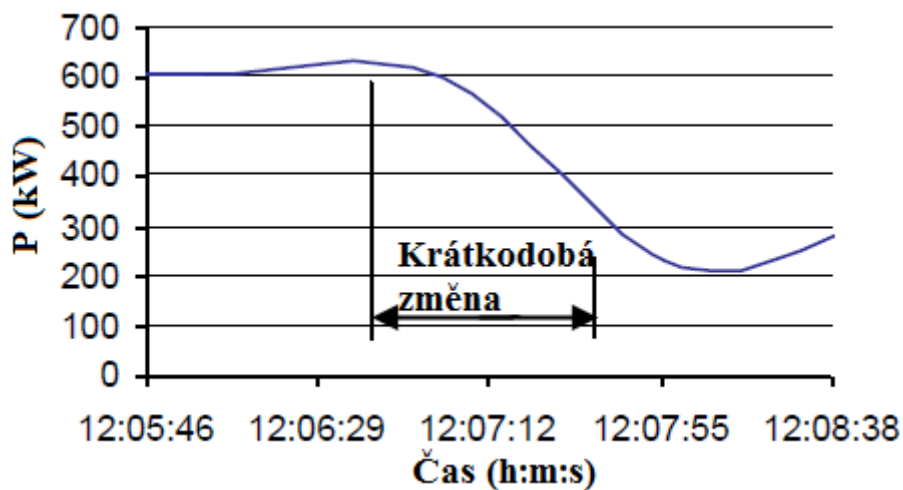
U slunečních elektráren dochází k častému kolísání výkonu z důvodu kolísání intenzity dopadajícího slunečního záření. [15]

U větrných elektráren změna rychlosti proudění větru nastává v porovnání se změnou intenzity solárního záření mnohem častěji. U větrných elektráren se dá lépe odhadnout velikost změny v rychlosti proudění větru, než jeho častost. V porovnání se slunečními elektrárnami, kde změny velikosti intenzity slunečního záření jsou v čase velké (např. svítí slunce a najednou přijde oblačnost), tak změny rychlosti proudění větru nejsou do velikosti tak značné. Naopak, kde větrné elektrárny jsou v nevýhodě, tak to je závislost jejich okamžitého výkonu na rychlosti větru z důvodu častých změn rychlosti proudění větru, nicméně je to částečně vykompenzováno pohybovou energií listů vrtule větrné elektrárny (vrtule se točí po určitou dobu, i když vítr ustane). [15]

4.6.1 Klasifikace stochastických metod

1) První kategorie - krátkodobá

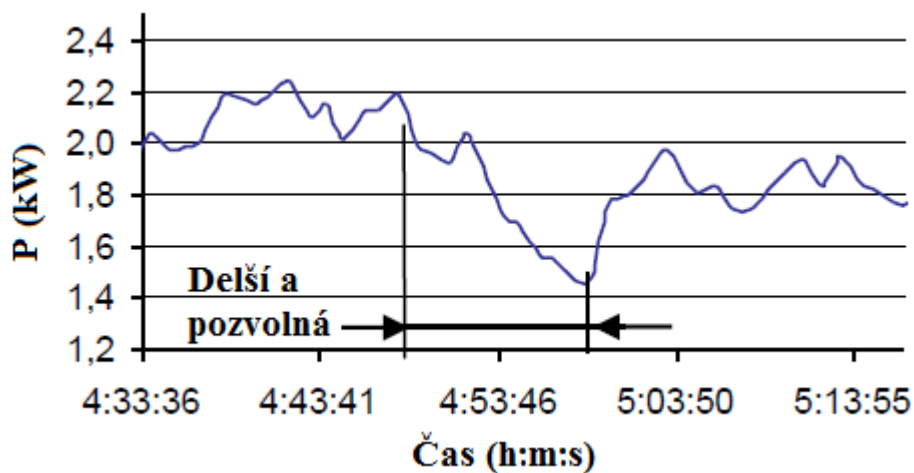
Tyto změny se vyskytují hlavně u solárních elektráren, kdy dochází v čase ke změnám velikosti výkonů v řádech sekund. [15]



Graf č. 1.: Průběh krátkodobé stochastické změny [15]

2) Druhá kategorie - delší a pozvolná

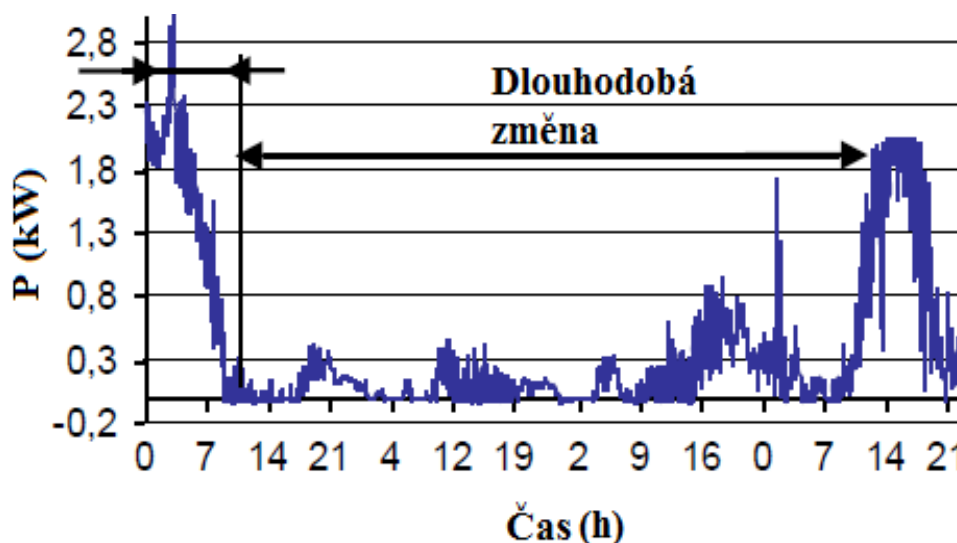
Tyto změny se vyskytují hlavně u větrných elektráren. Výkon se, může měnit více v porovnání s první kategorií, ale změna je více pozvolná. Dochází zde v čase ke změnám velikosti výkonů v rádech minut, až hodin. [15]



Graf č. 2.: Průběh delší a pozvolné stochastické změny [15]

3) Třetí kategorie - dlouhodobá

Jedná se o velké změny výkonu, které mohou trvat hodiny i déle. Jedná se např. o pokles výkonu u slunečních elektráren z důvodů nečinnosti v nočních hodinách, změna intenzity slunečního záření v závislosti na ročních obdobích atd. [15]



Graf č. 3.: Průběh dlouhodobé stochastické změny [15]

4.6.2 Možnosti eliminace stochastických změn

Zdroje použitelné pro eliminaci stochastických změn první kategorie jsou umístěny blízko zdroji nestabilního výkonu. Tyto zdroje musí být schopny regulovat svůj výkon v řádech sekund až minut. Pro tyto účely se dají použít akumulátorové baterie, ale z ekonomických důvodů se to příliš nepoužívá. Vhodnější se zdá být použití větrných a slunečních elektráren v jednom místě, kde se díky použití těchto dvou elektráren částečně eliminují stochastické změny první kategorie. [15]

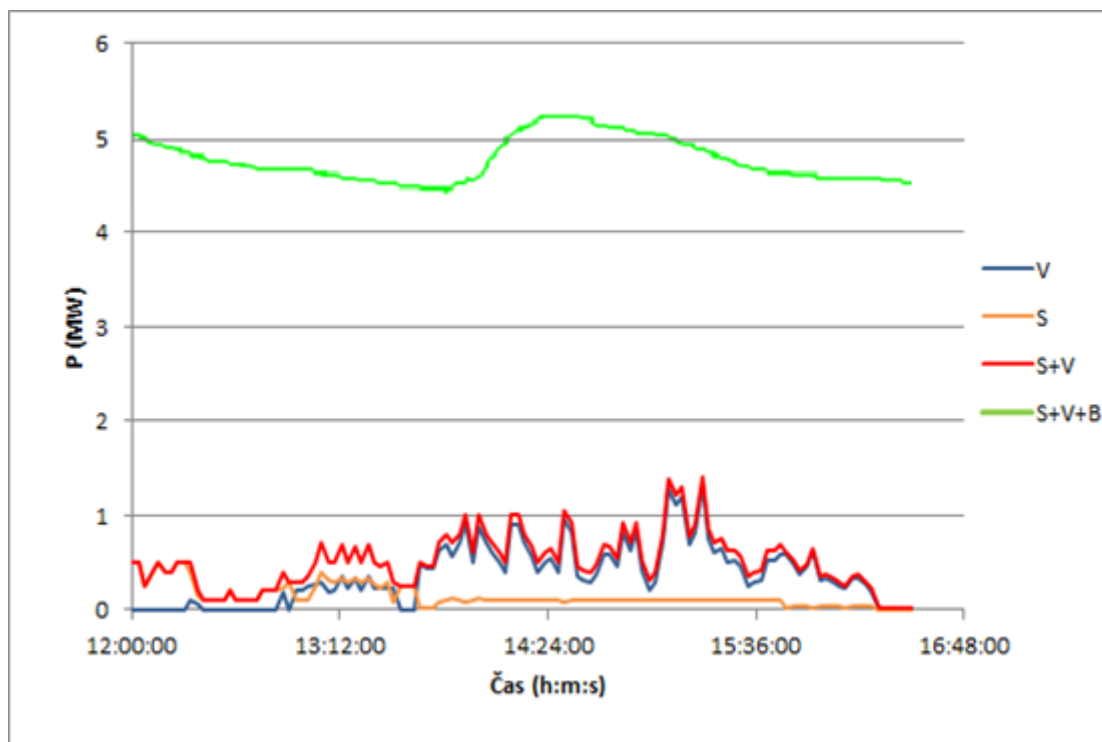
Pro eliminaci stochastických změn druhé kategorie se jako vhodný ekologický zdroj zdá být vhodná biomasa. Energie z biomasy by sloužila pro kompenzaci výkonu z větších slunečních a větrných elektráren v čase několika minut, až několika hodin. Díky tomu, že stochastické změny první kategorie byly eliminovány v nižších napěťových hladinách, pomocí použití větrných a slunečních elektráren v jednom energetickém bloku, tudíž není třeba, aby elektrárna na biomasu měla příliš velkou rezervu výkonu. Naopak mohli by jsme přebytky výkonu v elektrárně na biomasu, použít pro stálou produkci elektrické energie. [15]

Pro eliminaci stochastických změn třetí kategorie se použije víceméně stejného principu jako pro eliminaci stochastických změn druhé kategorie, jenom musíme počítat s větší výkonovou rezervou. [15]

4.6.3 Zhodnocení možností pro eliminace stochastických změn

Jak už bylo řečeno, pokud stochastické změny první kategorie budou eliminovány použitím větrných a slunečních elektráren v jednom energetickém bloku, pak pro eliminaci stochastických změn druhé a třetí kategorie se využijí elektrárny spalující biomasu. Samotné využití elektrárny spalující biomasu pouze pro eliminaci stochastických změn by nebylo ekonomicky výhodné, a proto je primárním účelem elektrárny spalující biomasu výroba elektřiny, a až sekundární úkol je eliminace stochastických změn. [15]

Následující graf č. 6 ukazuje kolísání výkonu při použití sluneční (S), větrné elektrárny (V) a součet výkonů sluneční elektrárny (S + V) a dále součet výkonů větrné, sluneční elektrárny a elektrárny na biomasu (S + V + B). Výkon získaný z biomasy zde představuje rozdíl mezi zelenou a červenou křivkou. [15]



Graf č. 4.: Průběh kolísání výkonů obnovitelných zdrojů 1 [15]

5. Řízení výkonu kogenerace zapojené do distribuční sítě 22 kV

V tomto bodě zadání provedu krátké seznámení s bioplynovou stanicí Hodoňovice, popis způsobu provedení měření a následné zkoumání, zobrazení a vyhodnocení naměřených veličin na této bioplynové stanici.

5.1 Popis bioplynové stanice Hodoňovice

Bioplynová stanice Hodoňovice nachází se na území Moravskoslezského kraje, konkrétně v zemědělském areálu společnosti Beskyd Agro a. s. Palkovice. Bioplynová stanice využívá pro výrobu bioplynu mokrou fermentaci a jako vstupní suroviny se využívá odpad z farem v Hodoňovicích a Palkovicích, a to konkrétně travní siláž, žitná siláž, kukuřičná siláž, prasečí a hovězí kejda. Výroba bioplynu probíhá při termofilních podmínkách při teplotě 55 °C. Bioplynová stanice Hodoňovice slouží k produkci elektřiny a tepla. [18]



Obr. č. 10.: Bioplynová stanice Hodoňovice [16]

5.2 Technologický popis bioplynové stanice Hodoňovice

První z důležitých konstrukčních celků je hlavní fermentor o objemu 2640 m³, který navazuje na část stavby, do níž se naváží pevný substrát. Součástí hlavního fermentoru je také mezisklad separátu a pevného digestátu, který slouží k průběžnému krátkodobému skladování pevného digestátu. [18]

Předjímka je další konstrukční částí, která slouží k příjmu kejdy, silážních štáv a znečištěné vody z manipulačních vod. Všechny vstupní produkty jsou do předjímky přiváděny pomocí podzemního potrubí, čímž dochází k omezení úniku nepříjemných pachových emisí do okolí. Předjímka je dále plynotěsně uzavřena pomocí betonového stropu, což dále omezuje množství pachových emisí unikajících z bioplynové stanice. [18]

Sekundární fermentor je tepelně izolovaná nádrž o objemu 1350 m³, která je dále vytápěna a využívána jako vedlejší zdroj bioplynu pro kogenerační jednotky. Dále zde dochází k dokvašování digestátu po dokončení fermentace v hlavním fermentoru. [18]

Koncový sklad slouží pro uskladnění digestátu, který už prošel kvašením a nepodléhá dalšímu dokvašování jako v sekundárním fermentoru. [18]

Silážní žlab o objemu asi 8500 m³ slouží k uskladnění rostlinné siláže jednak pro výrobu samotného bioplynu, ale také pro potřeby chovu skotu na farmách v Hodoňovicích a Palkovicích.

Strojové vybavení se skládá ze dvojice kogeneračních jednotek vybavené spalovacími motory, a to: [18]

- 1) GE Jenbacher JGS 312 GS-B.LC o elektrickém výkonu 549 kW
- 2) GE Jenbacher JGS 312 GS-B.LC o elektrickém výkonu 637 kW [18]

Na spalovací motory je namontován tepelný výměník, který využívá přebytečné teplo pro vytápění fermentačních nádrží. Mezi další strojové vybavení motorů patří stolní chladiče, tlumiče hluku, přívod a odvod vzduchu. [18]

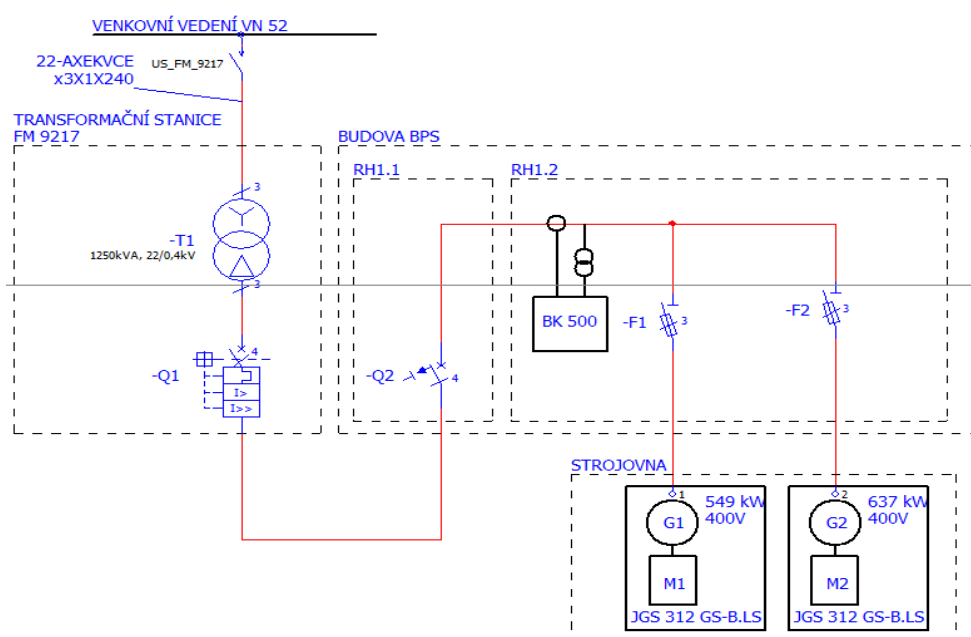
Elektrický výkon, který dostáváme z kogenerační jednotky má napětí 0,4 kV, ale pomocí transformátoru o výkonu 1250 kV, který je umístěn v samostatné kobce, je napětí transformováno na hladinu 22 kV pro připojení na venkovní vedení VN 22 kV. [16]

5.3 Popis měření na bioplynové stanici Hodoňovice

Měření na bioplynové stanici Hodoňovice probíhalo od 20. 8. 2014, 11:12 h. do 19. 9. 2014, 14:11 h. V průběhu měření se zaznamenalo celkem 44 640 řádků záznamu, což odpovídá vzorkovací frekvenci 1 minutě po dobu 30 dnů. Naměřená data byla vyhodnocena za pomoci programu BK ELCOM 2.9 Report, který vyhovuje všem požadavkům dle normy ČSN EN 50160, která se zabývá charakteristikami napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě.

Samotné měření jsem neprováděl já, ale bylo mi poskytnuto mým konzultantem Ing. Michalem Špačkem.

„Měření bylo prováděno pomocí automatického provozu digitálního měřicího zařízení BK ENA 330 od výrobce Elcom, Model ENA330 je kompaktní analyzátor kvality elektřiny bez displeje. Přístroj je vybaven čtyřmi napěťovými a proudovými vstupy. Analyzátor ENA330 splňuje požadavky normy ČSN EN 61000-4-30 pro přístroj třídy A. Napětí se měřilo přímo na sběrnici v rozváděči a proudy pomocí flexibilních Rogowského cívek – AmpFLEX. Měřicí zařízení BK ENA 330 bylo napojeno v rozvaděči RH 1.2 BPS Hodoňovice. Interval záznamu (vzorkovací frekvence) byla zaznamenávána po 1 minutě.“ [16]



Obr. č. 11.: Schéma zapojení kogeneračních jednotek do distribuční sítě [16]

5.3.1 Analýza naměřených hodnot

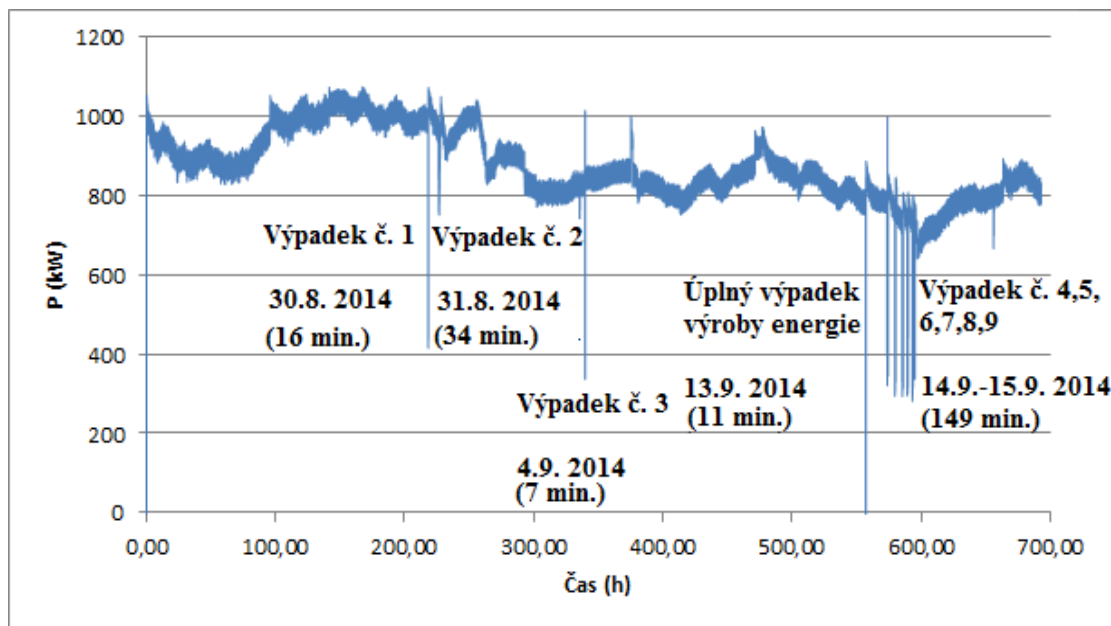
V následující části budu dělat rozbor naměřených hodnot z 30 denního měření na hodoňovické bioplynové stanici (20.8. 2014 - 19.9. 2014). Naměřená data byla vyexportována z programu BK ELCOM 2.9 Report, který slouží jako nástavba programu LabVIEW do programu MS Excel pro lepší přehlednost. Na časové ose v grafech měření z programu MS Excel je časová osa rozdělena po jednotlivých hodinách, kdy měření probíhalo. Nultá hodina představuje začátek 30 denního měření 20.8. v 11:11 h. a 693,12 hodnina představuje konec měření 19.9. v 19:50 h.

5.3.1.1 Analýza průběhu činného a jalového výkonu

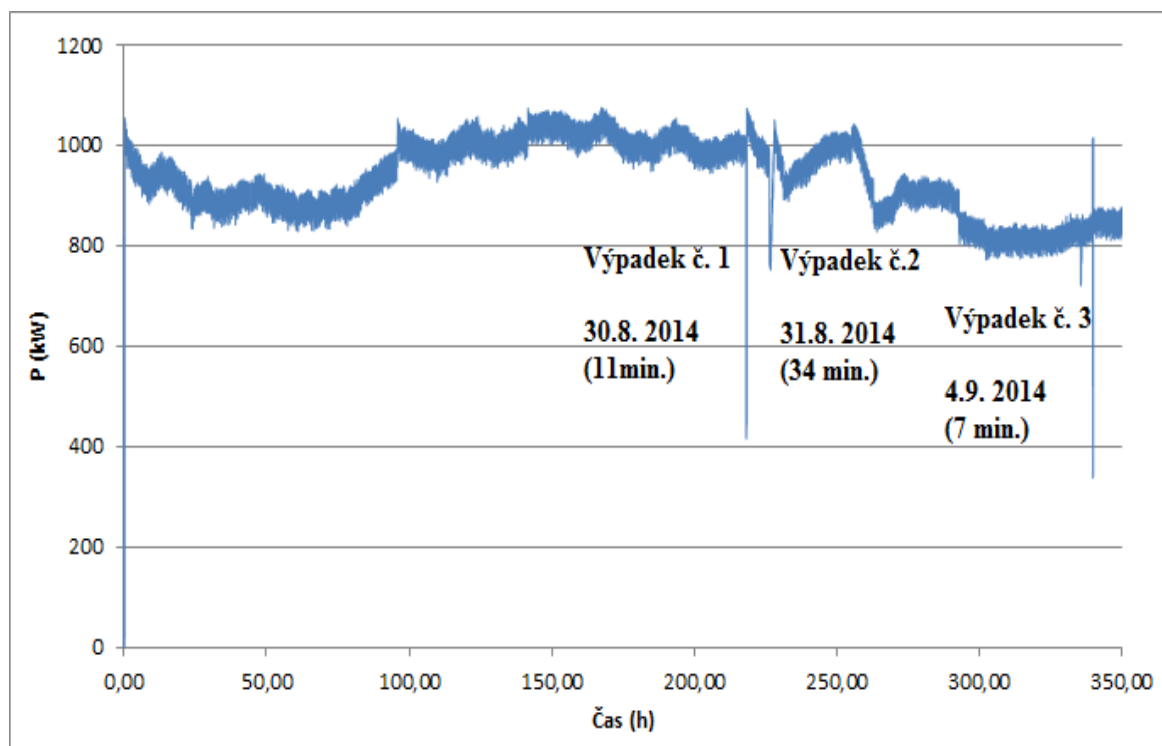
Níže uvedený průběh (graf č. 5) zaznamenává průběh celkového činného ($P_1 + P_2 + P_3$), který získáváme z kogeneračních jednotek v období od 20.8. 2014, 11:11 h. do 19.9. 2014, 19:50 h., kdy samotné měření probíhalo. Neuvádím zde výkony jednotlivých fází zvlášť, jednak z důvodu přehlednosti grafů, ale také proto, že odchylky mezi jednotlivými fázemi nejsou nijak významné, v průměru se odchylka mezi jednotlivými fázemi pohybuje do 1 %. Když se zaměříme na celkový průběh výkonu, je patrné že kogenerační jednotka nejela většinu času na svůj plný jmenovitý výkon 1186 kW.

Z grafu je dále patrné, že došlo k jednomu úplnému výpadku výroby elektrické energie, ke kterému došlo 13. 9. v 19:48 h. a trval do 19:57 h., tedy asi 11 minut, což znamená, že bioplynová stanice 0,026 % procent času z celkového měření (693,12 h) nevyráběla žádnou energii.

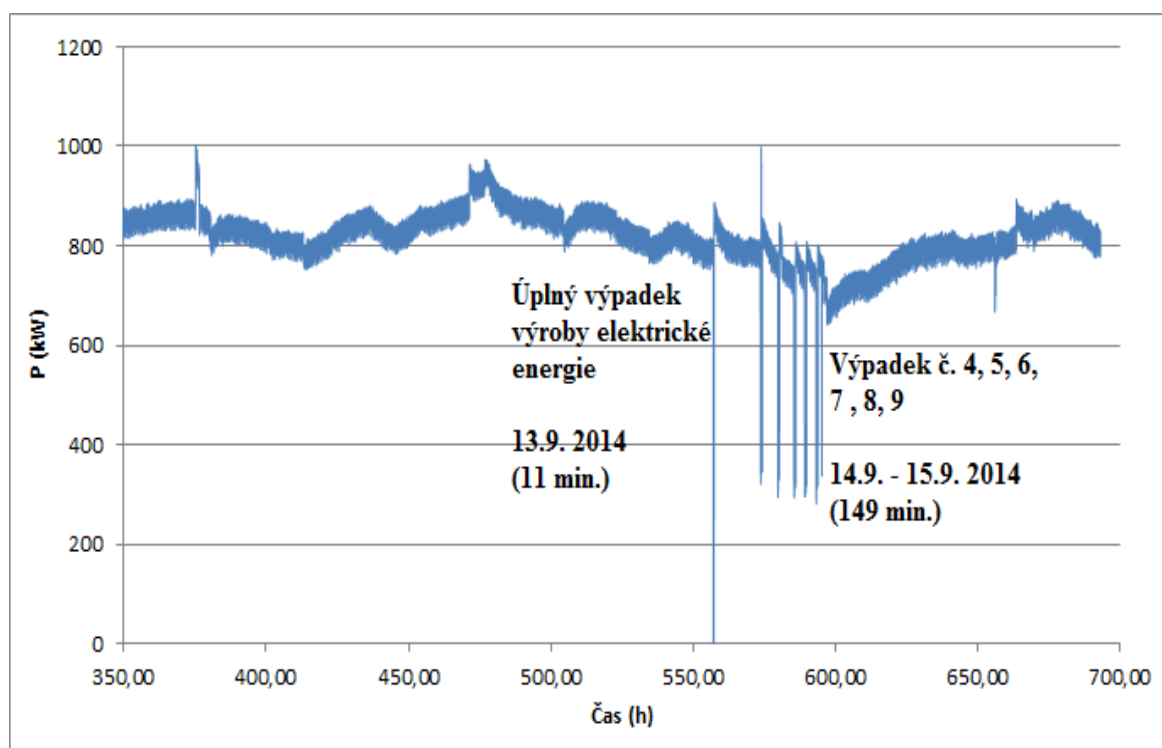
Kromě tohoto úplného výpadku došlo ještě k 9 významným částečným výpadkům výroby elektrické energie, kdy došlo ke strmému poklesu dodávaného výkonu do sítě o více jak 25% oproti předchozí hodnotě. Celková doba trvání těchto částečných výpadků byla 3 hodiny a 26 minut, což znamená, že těchto 9 částečných výpadků v dodávce činného výkonu na bioplynové stanici trvalo 0,43 % procent času z celkového měření (693,12 h). Velikost vyráběného činného výkonu se při již zmíněných výpadcích pohybovala 290 – 758 kW. Následující graf (graf č. 5) představuje průběh celkového dodávaného činného výkonu z kogeneračních jednotek do sítě a na následující straně je tentýž průběh rozdělen na dvě části pro lepší přehlednost (graf č. 6, 7).



Graf č. 5.: Průběh celkového činného výkonu dodávaného do sítě



Graf č. 6.: Průběh celkového činného výkonu dodávaného do sítě část 1

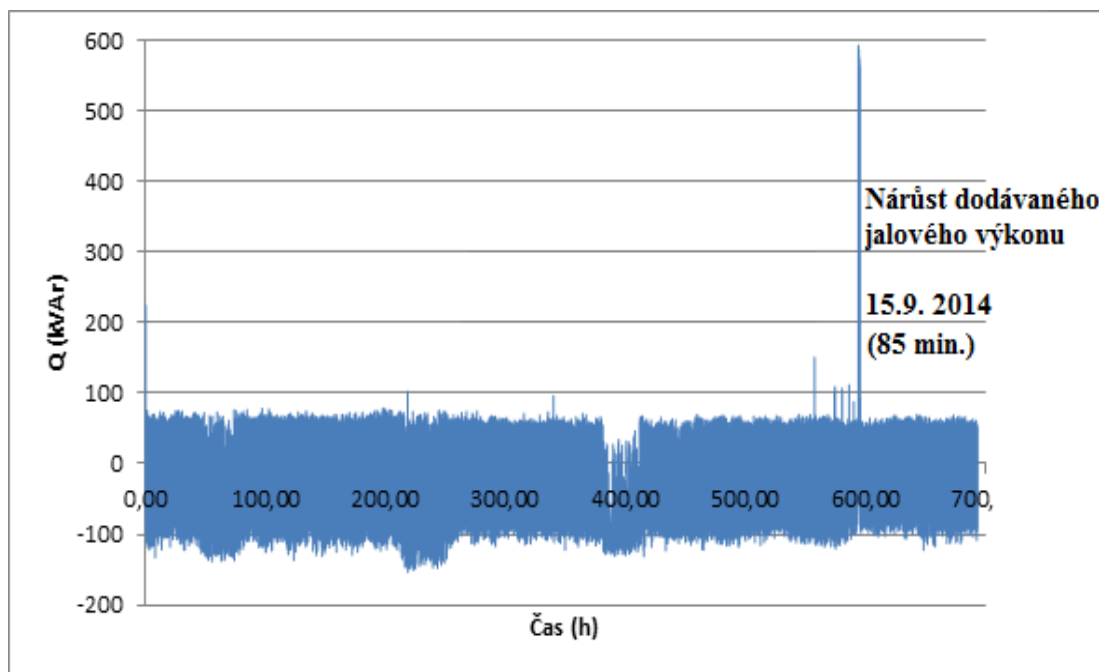


Graf č. 7.: Průběh celkového činného výkonu dodávaného do sítě část 2

Z průběhů je patrné, že činný výkon v čase značně kolísá, a jak už bylo zmíněno, výše kogenerační jednotky nejely většinu svého času na plný jmenovitý výkon 1186 kW, což bylo způsobeno hlavně nedostatečným množstvím produkce bioplynu. Průměrný celkový činný výkon, který kogenerační jednotky dodávaly do sítě za měřené období, se pohyboval okolo 876,8 kW.

Na grafu č. 8 je znázorněn průběh jalového výkonu zprůměrovaného ze všech 3 fází, který v čase značně kolísá a z průběhu je dále vidět, že u kogeneračních jednotek se rychle střídají období, kdy do sítě dodávají, nebo naopak odebírají jalovou složku elektrické energie, což je nejspíše způsobeno tím, že tu máme primární a sekundární kompenzaci účinníku, které nejsou úplně dokonale sladěny. Primární kompenzace účinníku je provedena v bloku s kogeneračními jednotkami, kdy elektrické generátory jsou vybaveny vlastní kompenzací účinníku, která pracuje tak, že regulační člen, který je naistalován na kogeneračních jednotkách sleduje velikost účinníku a reguluje podle potřeby buzení synchronních generátorů a tím ovlivňuje velikost účinníku. Sekundární regulace účinníku v podobě skokově řízené kondenzátorové baterie se nachází ve venkovní kobce, kde jsou umístěny vývody transformátoru, která dále reguluje výsledný účinník. Jak už bylo řečeno, jalový výkon poněkud kolísá zřejmě vlivem použité kompenzace, na druhé straně účinník se pohybuje na skvělé průměrné hodnotě 0,997.

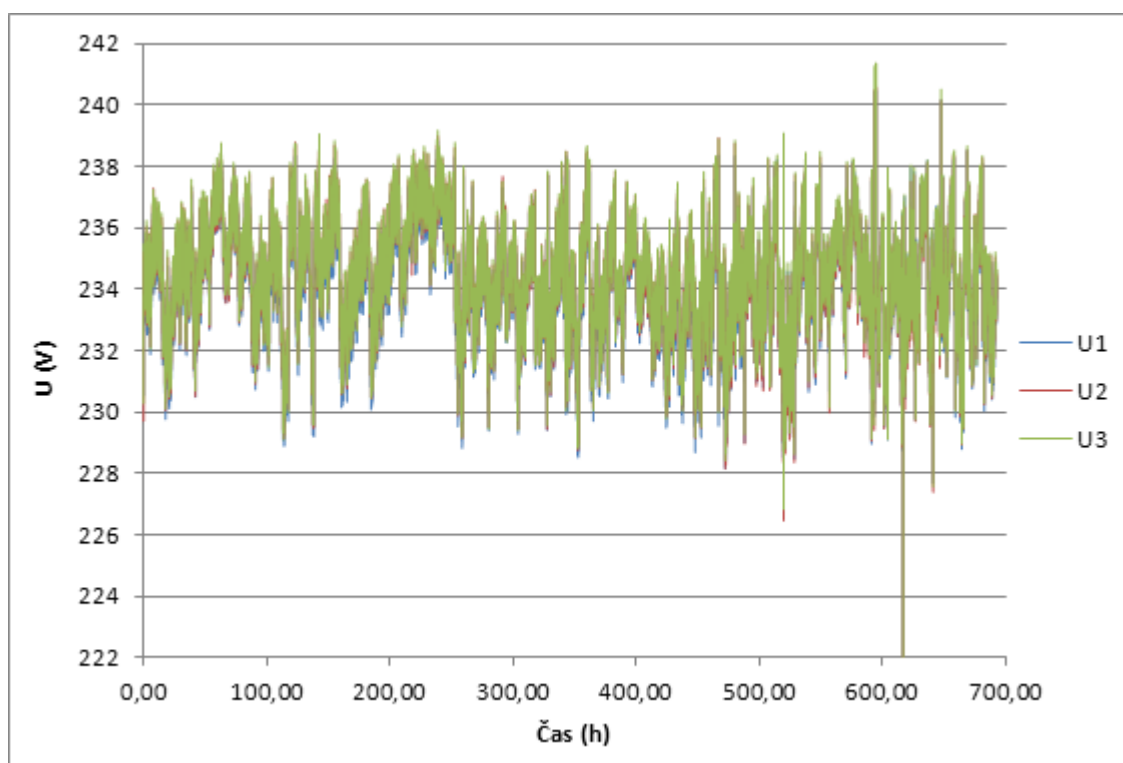
V průměru dosahuje jalového výkonu o hodnotě -37,1 kVAr, což znamená, že v průměru dochází k odběru jalového výkonu ze sítě o hodnotě 37,1 kVAr po celou dobu měření.



Graf č. 8.: Průběh jalového výkonu

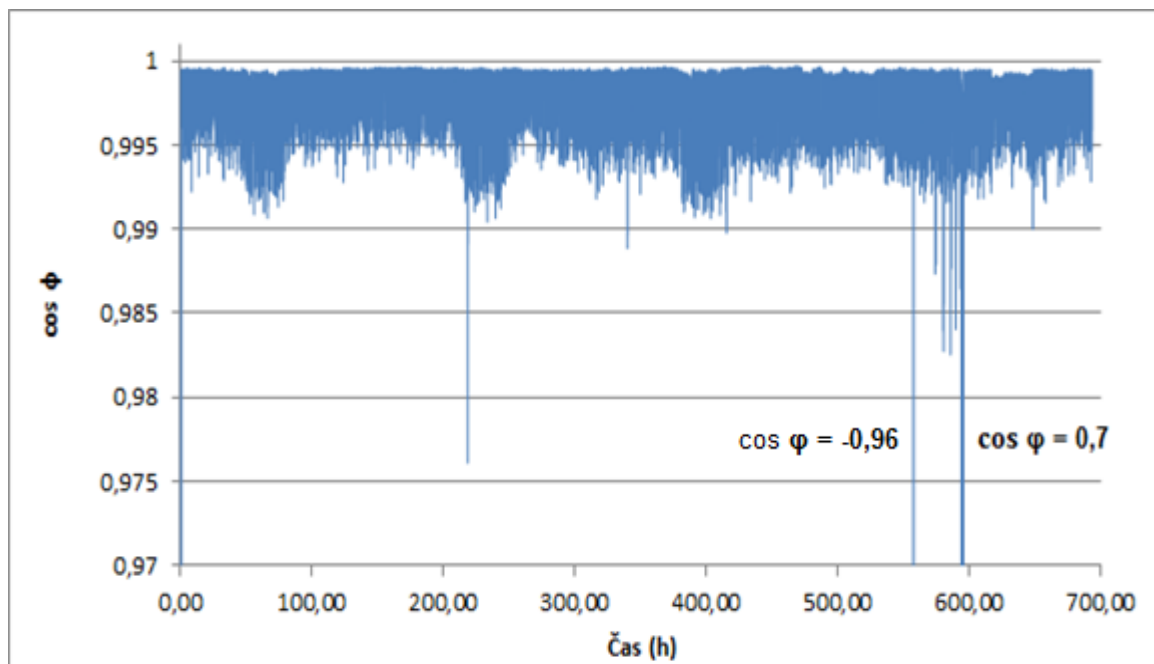
5.3.2 Analýza průběhu napětí, účinníku, frekvence

Graf č. 9 ukazuje průběh napětí ve všech 3 fázích, napětí ve všech fázích se pohybuje od 222 – 241,8 V. Norma ČSN 50160 stanovuje, že napětí se může pohybovat v rozmezí $\pm 10\%$ U_n , což je 207 – 253 V, tudíž stanovený limit hodoňovická bioplynová stanice splňuje, a dále splňuje všechny požadavky na napěťovou nesymetrii (zpětná, nulová). Pokud naměřené napětí zprůměrujeme pro všechny 3 fáze za celých 30 dnů měření, pak nám vyjde, že se napětí pohybovalo okolo 234,35, což je jen o 1,89 % větší hodnota, než je optimální napětí 230 V.



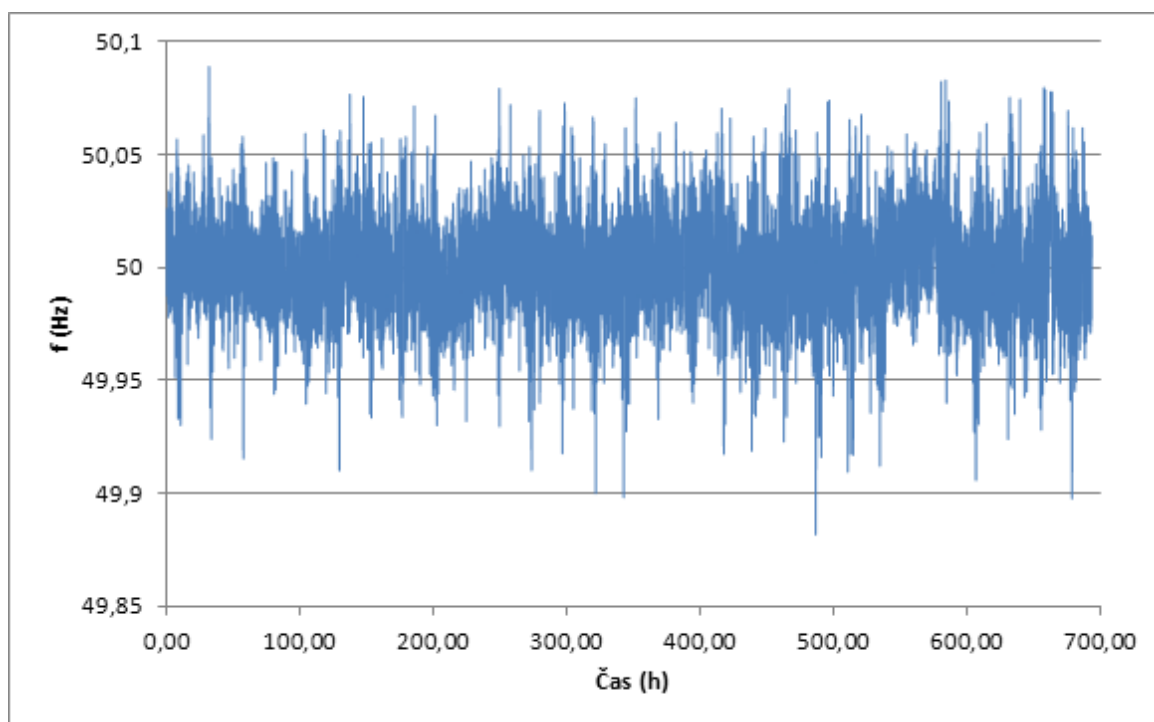
Graf č. 9.: Průběh napětí U_1 , U_2 , U_3

Z pohledu účinníku dosahujeme velmi dobrých hodnot, účinník se více jak 95% času pohybuje v rozmezí hodnot 1 – 0,989, s výjimkou jednotlivých poruch a odstávek. V průměru dosahujeme účinníku i se započítáním jednotlivých poruch a odstávek hodnoty 0,997. Na grafu č. 12 je vidět zjednodušený průběh účinníku zprůměrovaného ze všech třech fází v době měření. Zjednodušený je v tom smyslu, že ve dvou případech sítě dosahuje účinník hodnoty menší než 0,97, ale z důvodu přehlednosti grafu jsem omezil minimální hodnotu účinníku na již zmíněnou hodnotu 0,97.



Graf č. 10.: Průběh účinníku v době měření

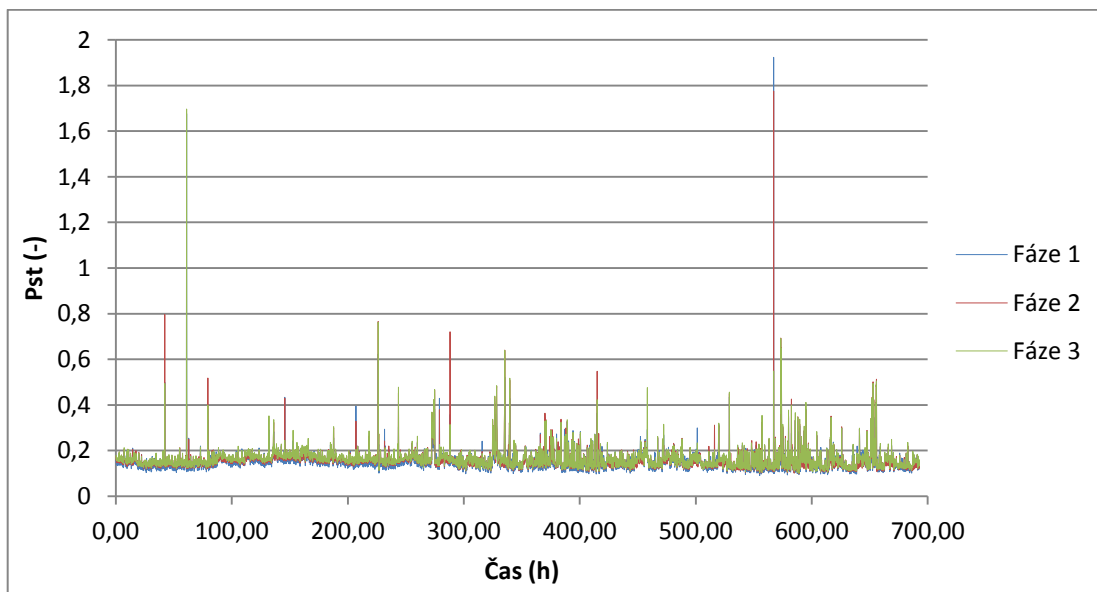
Frekvence se v průběhu záznamu měření pohybovala od 49,88 Hz po 50,08 Hz a v průměru kolem 50,001 Hz. Norma ČSN 50160 stanovuje, že se frekvence může pohybovat v rozmezí 49,5 – 50,5 Hz během 95% roku, a dále, že po 100 % roku musí být frekvence v rozmezí 42,5 – 57,5 Hz. V grafu č. 11 je vidět, že bioplynová stanice splňuje oboje podmínky.



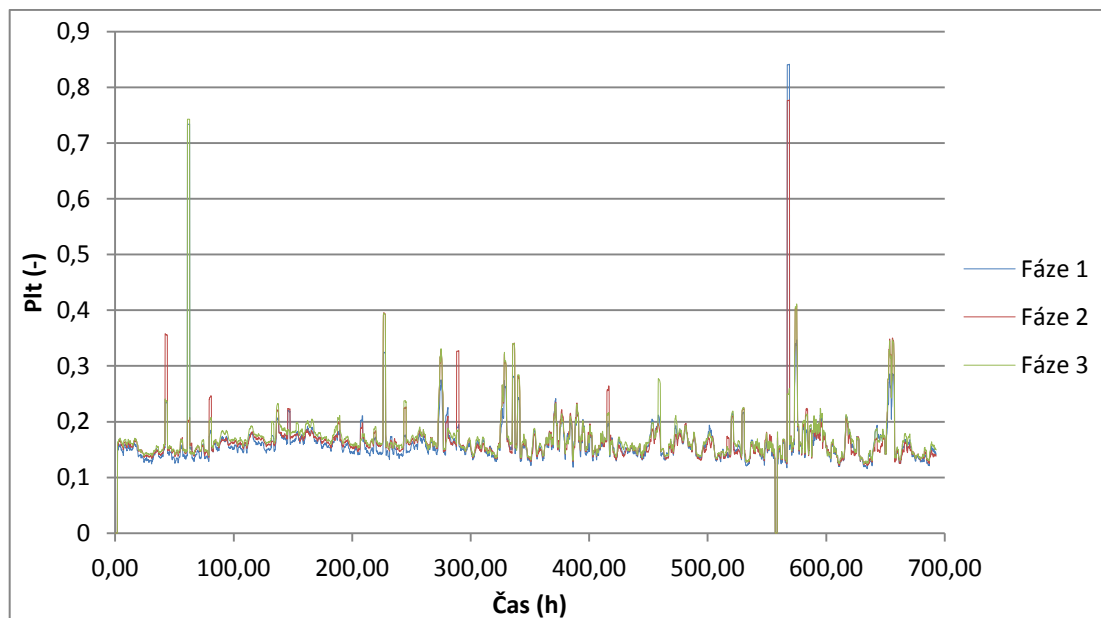
Graf č. 11.: Průběh frekvence v době měření

5.3.3 Flikr, HDO signály, Harmonické složky

Flikr, neboli rychlé periodické kolísání napětí, se měřil v intervalech po 10 minutách, a to jak pro krátkodobou míru vjemu flikru, tak i pro dlouhodobou míru vjemu flikru. Z grafů č. 12, 13 je vidět, že je splněna podmínka, kdy musí po 95 % času platit, že $P_{st} \leq 10$ a $P_{lt} \leq 1$.



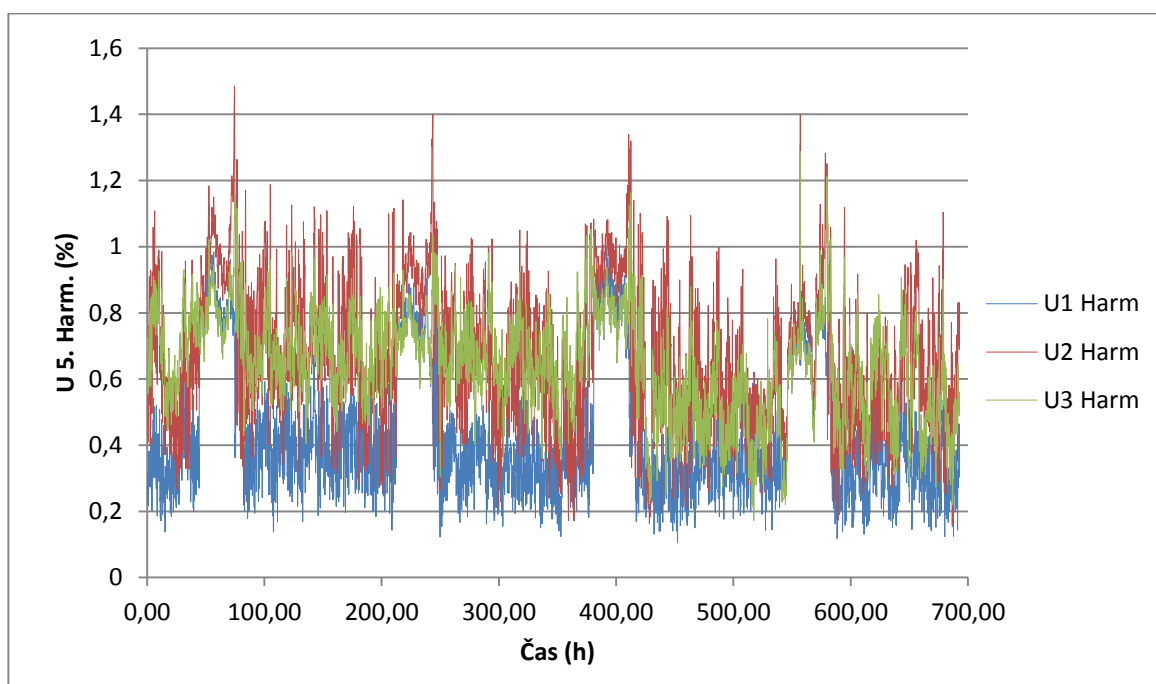
Graf č. 12.: Průběh krátkodobé míry vjemu flikru P_{st}



Graf č. 13.: Průběh dlouhodobé míry vjemu flikru P_{lt}

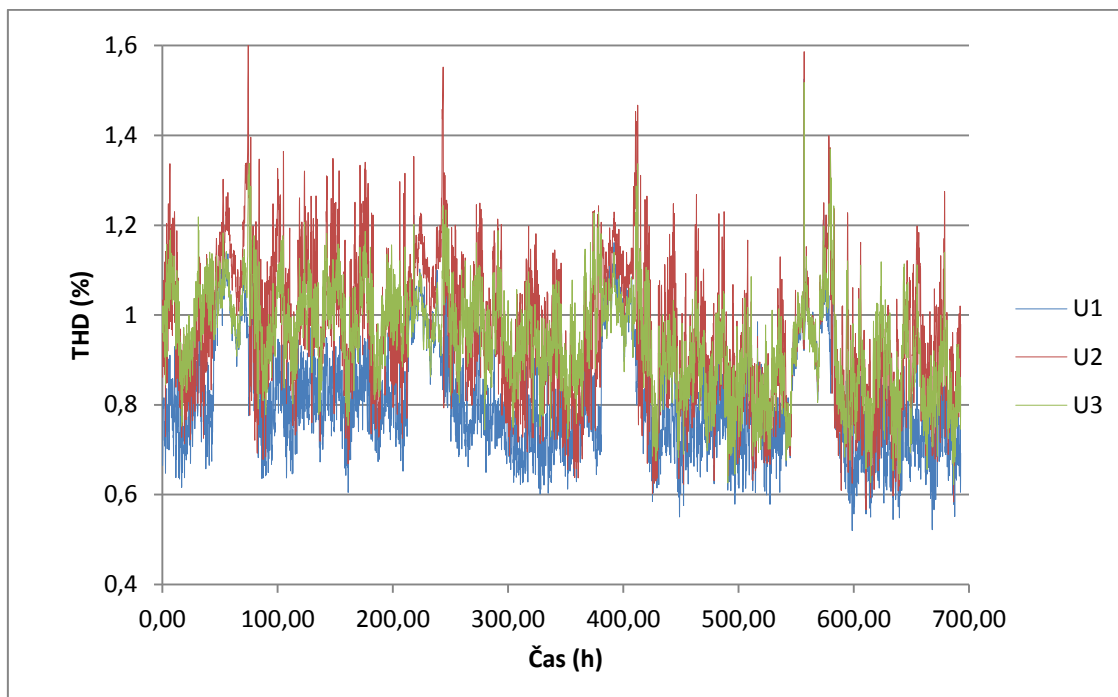
U měřeného signálu HDO o frekvenci 216,66 Hz dochází v 3 sekundových intervalech k maximálnímu poklesu úrovně signálu HDO o 0,24 %, což z pohledu normy ČSN 50160 splňuje požadavek, aby pokles signálu HDO byl do 9 % po 99 % času.

Měření z hlediska harmonických napětí vyšších řádů vyhovělo všem požadavkům normy ČSN 50160. Měření se provádělo pro 1 – 25 harmonickou včetně meziharmonických (0,5 – 23,5), pro ilustraci zde uvádím průběh 5. harmonické na grafu č. 14. Norma ČSN 50160 říká, že harmonické napětí vyšších řádů pro 5. harmonickou splňuje normu, pokud hodnota harmonického napětí vyšších řádů nepřesáhne hranici 6 %, což je splněno, protože maximální harmonické napětí pro 5. harmonickou dosahuje hodnoty přibližně 1,5 %.



Graf č. 14.: Průběh 5. harmonické

Na grafu č. 15 je vidět průběh THD (celkový činitel zkreslení napájecího napětí), což jde definovat jako poměr součtu výkonů všech harmonických složek k výkonu základní harmonické. Hodnota THD nepřekročila hodnotu 1,6 %, což je skvělý výsledek, protože dle normy ČSN 50160 stačí, aby po 95 % času hodnota THD nepřekročila hodnotu 8 % v rámci 10 minutových měření a hodnotu 16 % v rámci 3 sekundových měření. V průměru se zkreslení napájecího napětí pohybovalo okolo 0,91 %.



Graf č. 15.: Celkový činitel zkreslení THD

5.3.4 Analýza průběhu mimořádných událostí

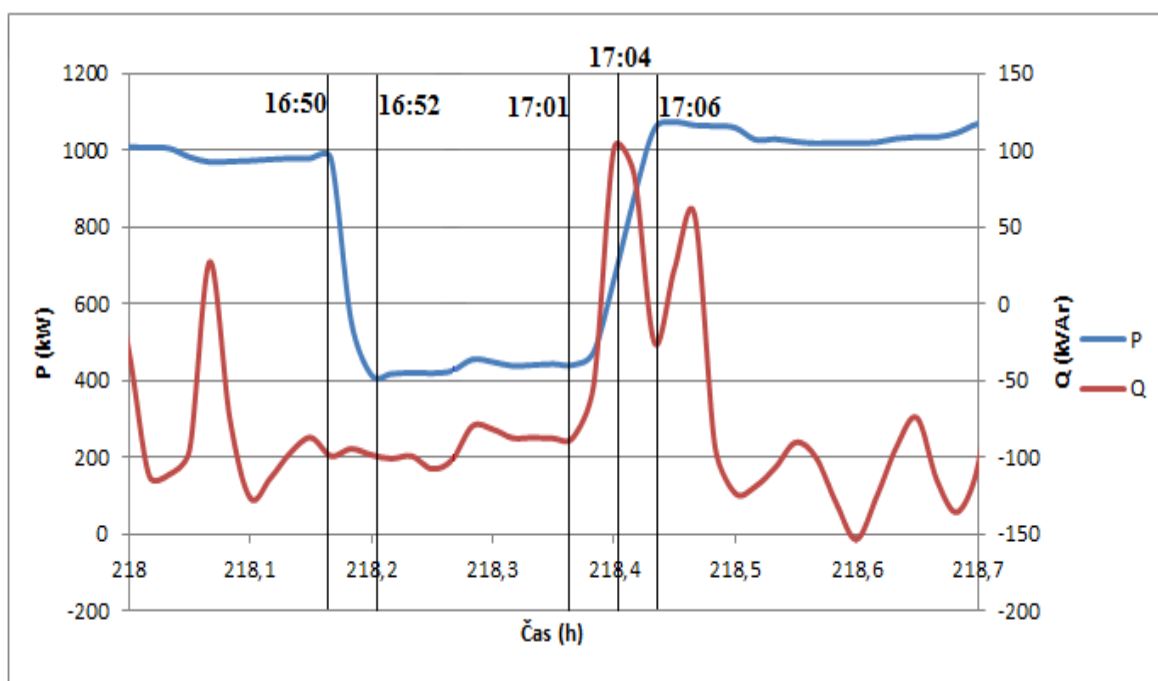
V tomto bodě budu analyzovat vybrané mimořádné události, které se vyskytly v měření za účelem zhodnocení vlivu poklesu nebo úplného výpadku dodávky elektrické energie z kogeneračních jednotek do distribuční sítě. Přehled vybraných událostí je následující:

- 1) Pokles dodávaného výkonu způsobený výpadkem jedné kogenerační jednotky
- 2) Úplný výpadek výroby elektrické energie
- 3) Období značného růstu dodávky jalového výkonu

1) Pokles dodávaného výkonu způsobený výpadkem jedné kogenerační jednotky

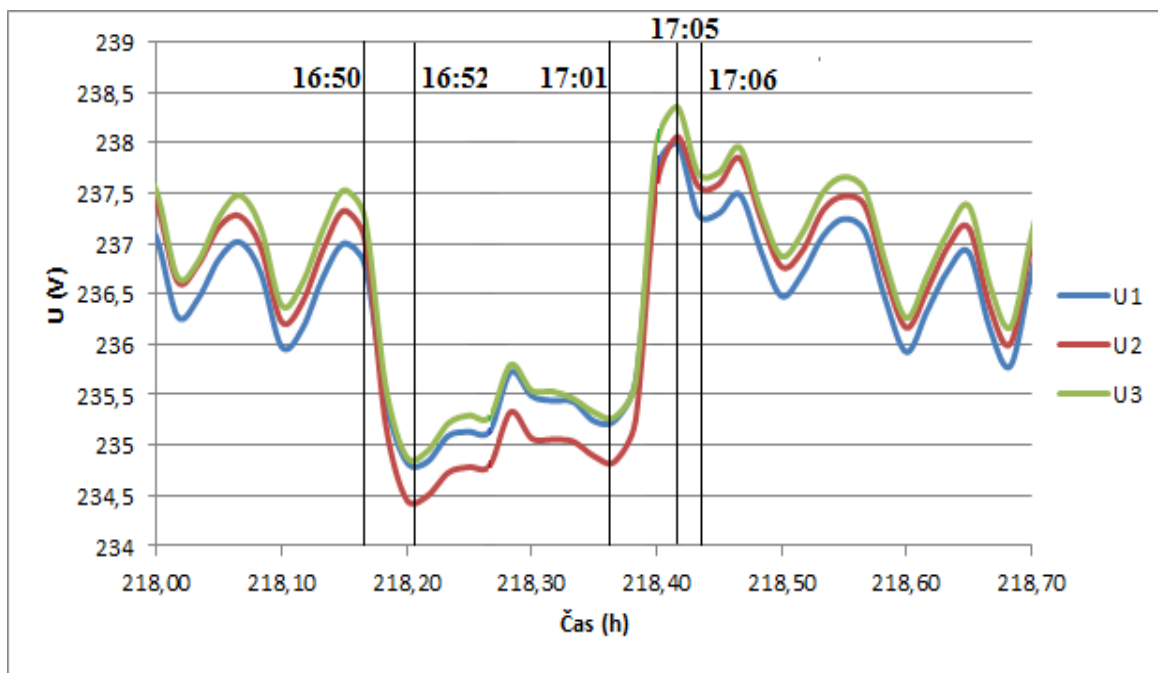
K vypnutí jedné z kogeneračních jednotek došlo v 9 případech z důvodu nedostatku bioplynu pro pohon obou kogeneračních jednotek, tyto výpadky jsou označeny na grafech č. 5, 6, 7 jako výpadky s čísly 1 - 9. K analýze jsem si v tomto bodě vybral výpadek č. 1, ke kterému došlo 30. 8. 2014 od 16:50 h. do 17:01 h. Při tomto výpadku, který trval 11 minut, došlo k odpojení jedné kogenerační jednotky z důvodu nedostatku bioplynu.

Na grafu č. 16, je vidět, že v čase 16:50 h. došlo k náhlému odpojení jedné kogenerační jednotky, a z toho důvodu došlo k poklesu celkového činného vyráběného výkonu z hodnoty 979 kW na hodnotu okolo 420 kW v čase 16:50 – 16:52 h., jalový výkon, který byl odebírán ze sítě, se pohyboval okolo hodnoty 95 kVAr. V čase 16:52 – 17:01 h. došlo ke zvýšení vyráběného činného výkonu fungující kogenerační jednotkou asi o 20 kW a odebíraný jalový výkon poklesl přibližně o 20 kVAr. V čase 17:01 h. došlo k připojení druhé kogenerační jednotky k síti, a tím zároveň došlo k poklesu odebíraného jalového výkonu až do té míry, že kogenerační jednotky místo odebírání jalového výkonu ze sítě ho začaly do sítě dodávat, až dosáhly hodnoty dodávaného jalového výkonu 101 kVAr v čase 17:04 h., pak zareagovala kompenzace účinníku a vyráběný jalový výkon opět začal klesat. Co se týká činného výkonu, tak ten začal růst taktéž s připojením druhé kogenerační jednotky k síti v čase 17:01 h. a dosáhl maximální hodnoty 1070 kW v čase 17:06 h., na které se víceméně ustálil.



Graf č. 16.: Průběh činného a jalového výkonu při jedné kogenerační jednotky

Z pohledu napětí při výpadku č. 1 (graf č. 17) se napětí pohybovalo ve stanovených tolerancích, které jsou $\pm 10\%$ U_n , a to konkrétně na hodnotách 234,6 – 238,4 V. V čase 16:50 – 16:52 h., klesá napětí z hodnoty 237 V na minimální hodnotu 234,6 V. V čase 16:52 – 17:01 h., kdy došlo ke zvýšení výkonu pracující kogenerační jednotky, dochází nejdříve k růstu napětí na hodnotu 234,7 V a následně k poklesu na hodnotu 235 V, v čase 17:01 h. V čase 17:01 h., kdy došlo k připojení kogenerační jednotky, napětí roste, až na hodnotu 238 V, v čase 17:05 h., a pak dochází k postupnému poklesu a ustálení napětí.

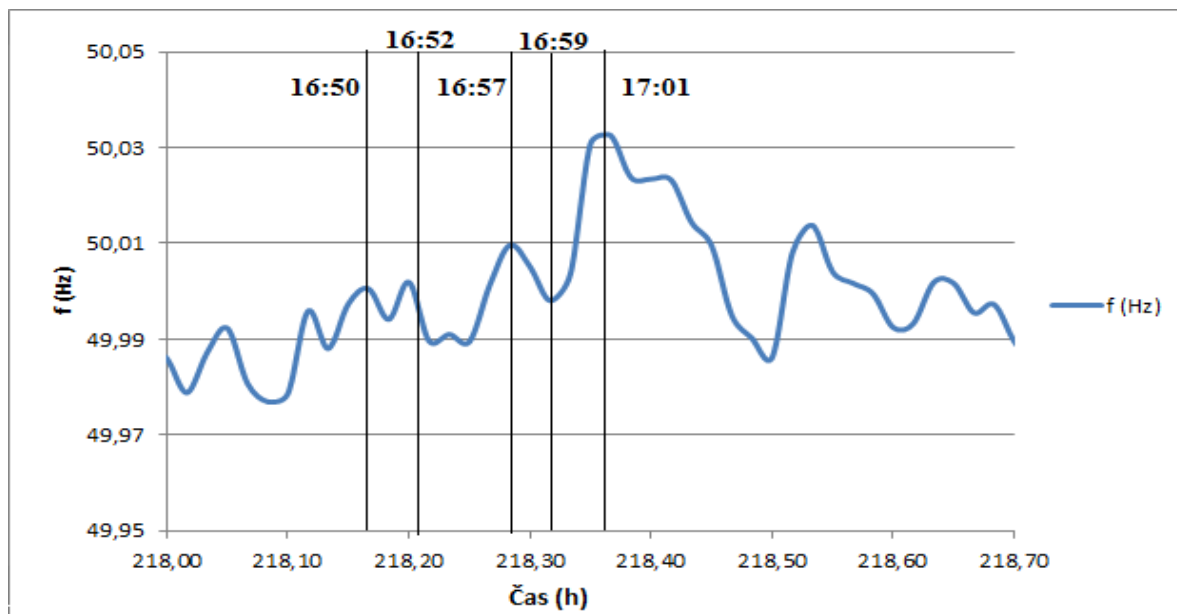


Graf č. 17.: Průběh napětí při výpadku jedné kogenerační jednotky

Průběh frekvence je zaznamenán na grafu č. 18, frekvence po dobu výpadku jedné kogenerační jednotky pohybovala od 49,99 – 50,33 Hz, což nepřekročilo dovolené meze (59,5 - 50,5 Hz) stanovené v normě ČSN 50160.

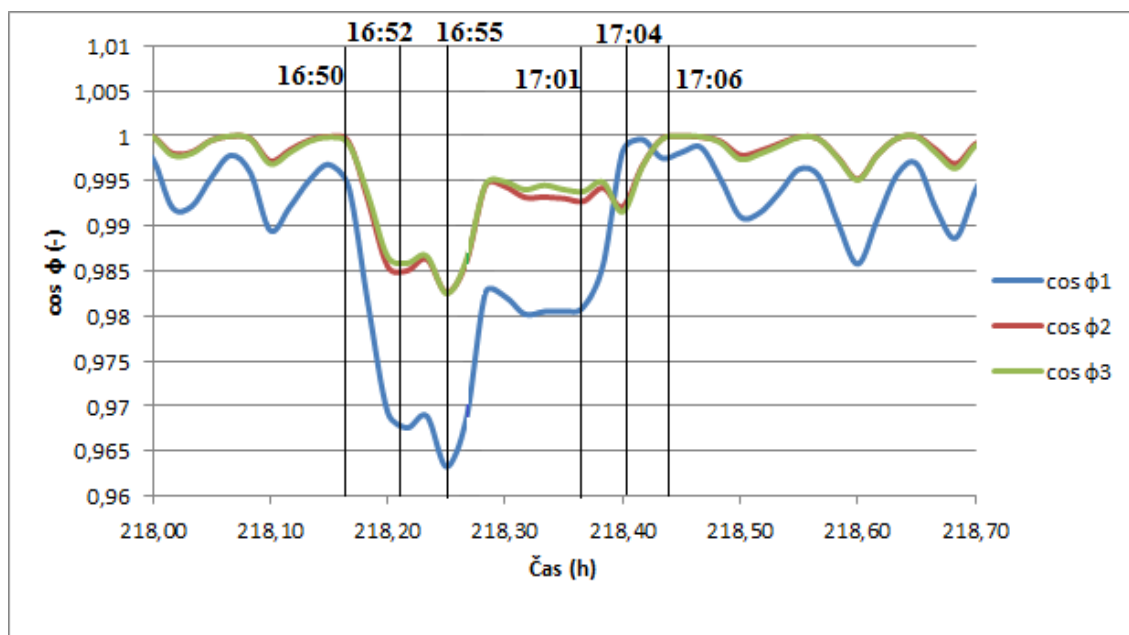
Pokud se zaměříme na průběh frekvence podrobněji tak je vidět, že v čase 16:50 h., kdy došlo k výpadku jedné kogenerační jednotky, frekvence se pohybovala okolo 50 Hz. Výpadek zprvu způsobil jen mírné kolísání frekvence do 0,001 Hz, až v 16:52 h. došlo ke zvýšení výkonu fungující kogenerační jednotky a došlo poklesu frekvence na hodnotu 49,99 Hz, na této hodnotě frekvence vydržela, až do 16:55 h., kdy dochází naopak k jejímu růstu, až na hodnotu 50,01 v čase 16:57 h., pak dochází opět k poklesu frekvence, až na hodnotu 49,998 Hz v čase 16:59 h. V období 16:59 h. – 17:01 h. dochází k poslednímu růstu frekvence, frekvence se v čase 17:01 vyšplhala do hodnoty 50,33 Hz a dál už nerostla, protože v tomto čase dochází k připojení druhé kogenerační jednotky, a tím ke snížení a postupné stabilizaci velikosti frekvence.

Z celkového pohledu se dá říct, že v době výpadku jedné kogenerační jednotky (16:50 - 17:01 h.) dochází, až na malé výjimky, k postupnému růstu frekvence.



Graf č. 18.: Průběh frekvence při výpadku jedné kogenerační jednotky

Na grafu č. 19 je zaznamenán průběh účinníku při výpadku č. 1. V době výpadku kogenerační jednotky v 16: 50 h. účinník klesá z průměrné hodnoty 0,998 až na hodnotu 0,976 (pro 1. fázi 0,963) v čase 16:55 h., pak dochází k opětovnému růstu účinníku, až na průměrnou hodnotu 0,9 v čase 16:57 h. V čase 17:01 h., kdy došlo k připojení druhé kogenerační jednotky, dochází k dalšímu růstu účinníku, až do času 17:04 h. V 17:06 h. dochází k pozvolnému odeznění přechodového děje způsobené odpojením jedné kogenerační jednotky a účinník se ustaluje na průměrné hodnotě 0,997.

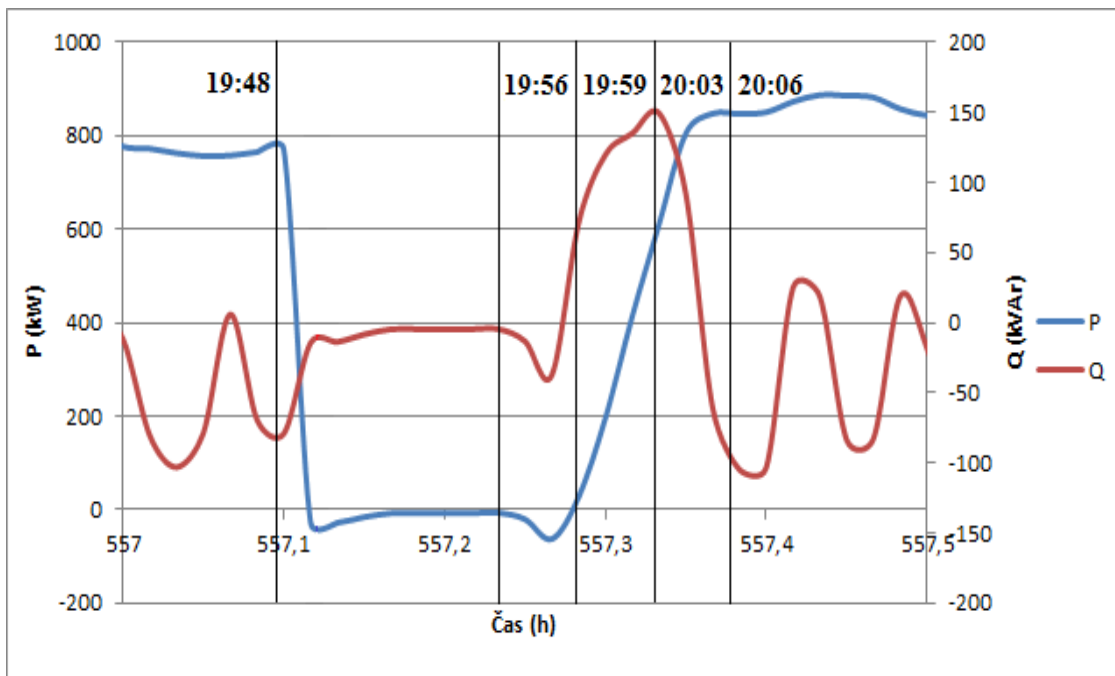


Graf č. 19.: Průběh účinníku při výpadku jedné kogenerační jednotky

2) Úplný výpadek výroby elektrické energie

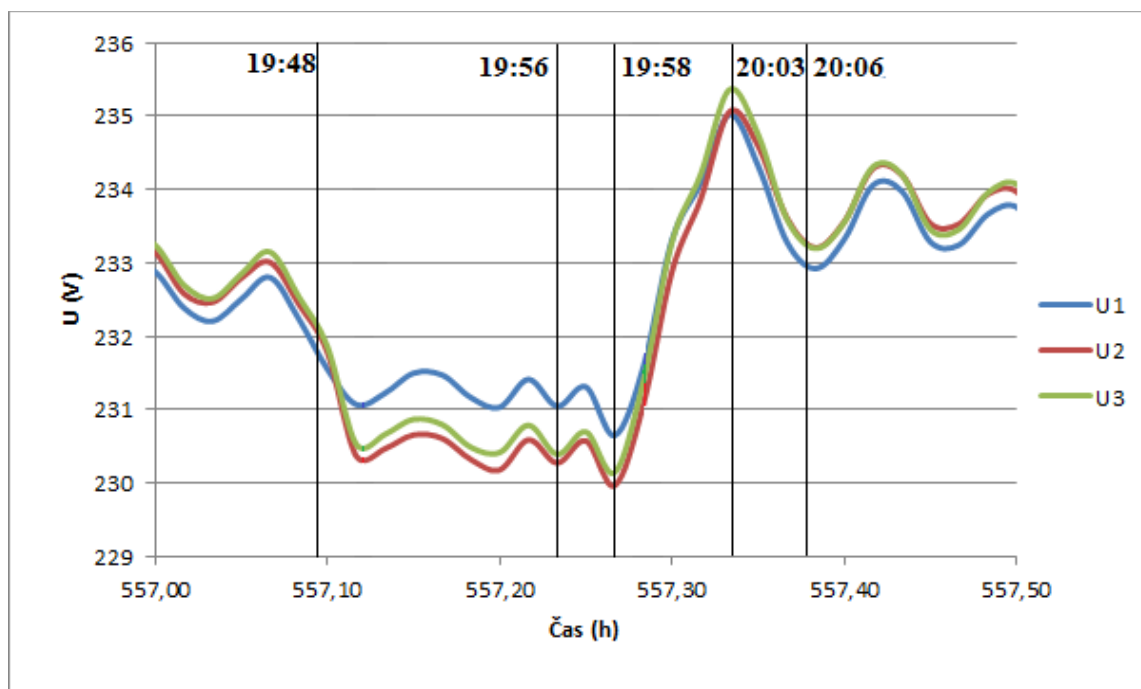
K úplnému výpadku výroby elektrické energie kogeneračními jednotkami bioplynové stanice Hodoňovice došlo pouze jedinkrát, a to 13. 9. 2014 od 19:48 h. do 19:56 h. Toto období při, kterém bioplynová stanice nevyráběla žádnou energii, trvalo 11 minut a došlo k němu v důsledku výpadku sítě.

Na grafu č. 20 je zaznamenán průběh činného a jalového výkonu ve sledovaném období, úplného výpadku výroby elektrické energie. V čase 19:48 h. došlo k výpadku sítě a důsledek byl, že vyráběný činný výkon klesl ze 770 kW na činný výkon o hodnotě kolem 8 kW, který byl naopak ze sítě odebírán pro pokrytí vlastní spotřeby bioplynové stanice. Ve stejném čase dochází také k poklesu odebíraného jalového výkonu ze sítě z hodnoty 80 kVAr na hodnotu kolem 5 kVAr. V čase 19:56 h. - 19:59 h. dochází k opětovnému připojení kogeneračních jednotek k síti, ale zatím nevyrábějí žádný výkon, naopak odebírají asi 23,75 kW ze sítě v důsledku jejich najíždění na synchronní otáčky. V čase 19:59 h. začínají kogenerační jednotky do sítě dodávat činný výkon, jehož hodnota roste, až do hodnoty asi 845 kW, kde se postupně ustaluje na stabilní hodnotě. Vyráběný jalový výkon začíná růst z hodnot blízkých nule v čase 19:58 h. a roste až do hodnoty 149 kVAr v čase 20:03 h., pak zareagovala kompenzace účinníku a vyráběný jalový výkon začal opět klesat.



Graf č. 20.: Průběh činného a jalového, při úplném výpadku výroby elektrické energie

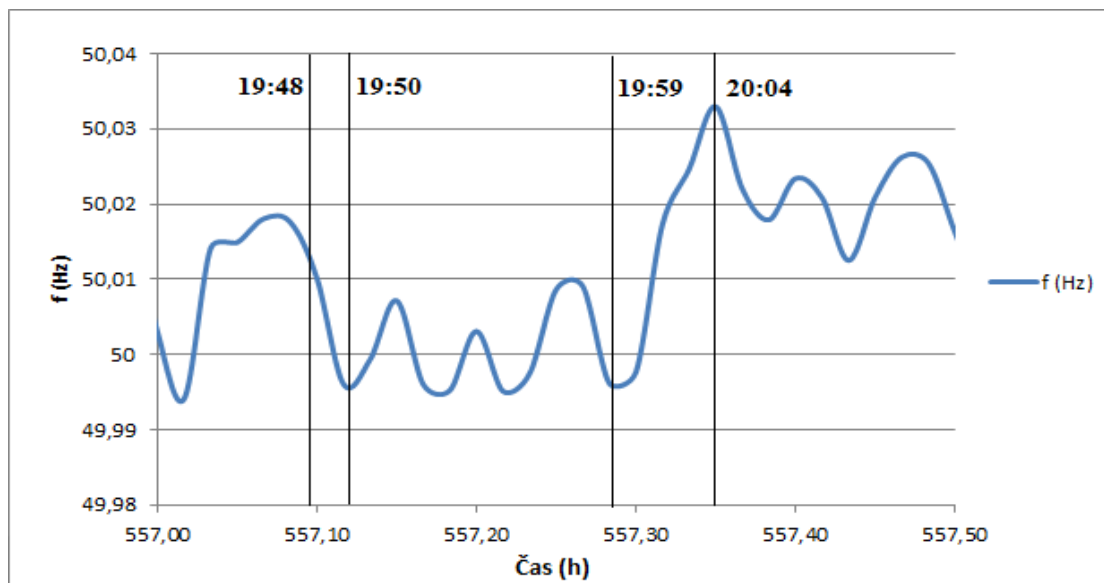
Z hlediska napětí při úplném výpadku výroby elektrické energie (graf č. 21), se napětí pohybovalo ve stanovených tolerancích, které jsou $\pm 10\%$ U_n , a to konkrétně na hodnotách 235,36 – 230 V. V čase 19:48 h., kdy došlo k výpadku, dochází k postupnému poklesu napětí o 1 – 2 V. V čase 19:56 h., kdy došlo k opětovnému připojení kogeneračních jednotek k síti, se napětí pohybuje na průměrné hodnotě 203,7 V. V čase 19:58 h. dochází k razantnímu růstu napětí z minimální hodnoty 230 V, až do maximální hodnoty 235,36 V, v čase 20:03 h. V čase 20:06 dochází k ustálení vyráběného činného výkonu a spolu s tím se i napětí postupně ustaluje na hodnotě asi 233,5 V.



Graf č. 21.: Průběh napětí, při úplném výpadku výroby elektrické energie

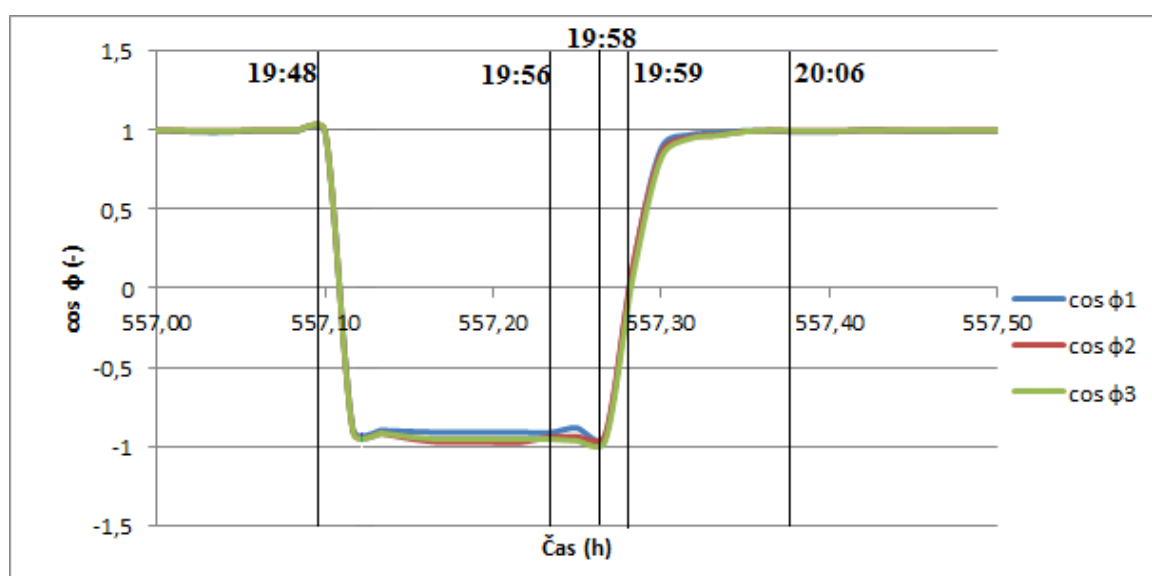
Průběh frekvence při úplném výpadku elektrické výroby elektrické energie je vykreslen na grafu č. 22. V detailu je vidět že v čase 19:48 h., kdy došlo k výpadku sítě, se frekvence, která měla v tomto bodě hodnotu 50,13 Hz, pohybovala po sestupné charakteristice, výpadek sítě pouze zvětšil pokles frekvence v absolutních hodnotách. Frekvence dále klesala, až do času 19:50 h., kdy dosáhla hodnoty 49,996 Hz, pak v období 19:50 – 19:59 h. docházelo ke kolísání frekvence od 49,996 Hz do 50,009 Hz. V čase 19:59 h. začínají opět kogenerační jednotky do sítě dodávat výkon, což má za následek růst frekvence z hodnoty 50,009 Hz na hodnotu 50,033 v čase 20:04, pak dochází opět k poklesu a následnému ustálení frekvence.

Z celkového pohledu je patrné, že v období, kdy kogenerační jednotky nevyráběly žádný činný výkon (19 :48 – 19:59 h.), došlo k poklesu frekvence. Frekvence se v tomto období pohybovala od 49,996 Hz do 50,13 Hz, což stále bylo v rámci dovolených hodnot (59,5 -50,5 Hz) stanovených v normě ČSN 50160.



Graf č. 22.: Průběh frekvence výpadku výroby elektrické energie

Na grafu č. 23 je zaznamenán účinník při úplném výpadku výroby elektrické energie. V době výpadku kogeneračních jednotek v 19:48 h. účinník klesá z průměrné hodnoty 0,998, až do záporných hodnot, což značí, že místo výroby elektrické energie dochází naopak k jejímu odběru. V čase 19:56 h. došlo k připojení kogeneračních jednotek k síti a k dalšímu poklesu účinníku, až na minimální hodnotu -0,974 v čase 19:58 h. způsobenou tím, že zpočátku kogenerační jednotky energii nevytvořily činný výkon, ale pouze ho odebíraly ze sítě. V čase 19:58 h. začíná růst účinník ze záporných hodnot a v čase 19:59 h. kogenerační jednotky začínají dodávat do sítě činný výkon, čímž dochází ve stejném čase k růstu účinníku z nulové hodnoty, až do hodnoty 0,997 v čase 20:06 h.

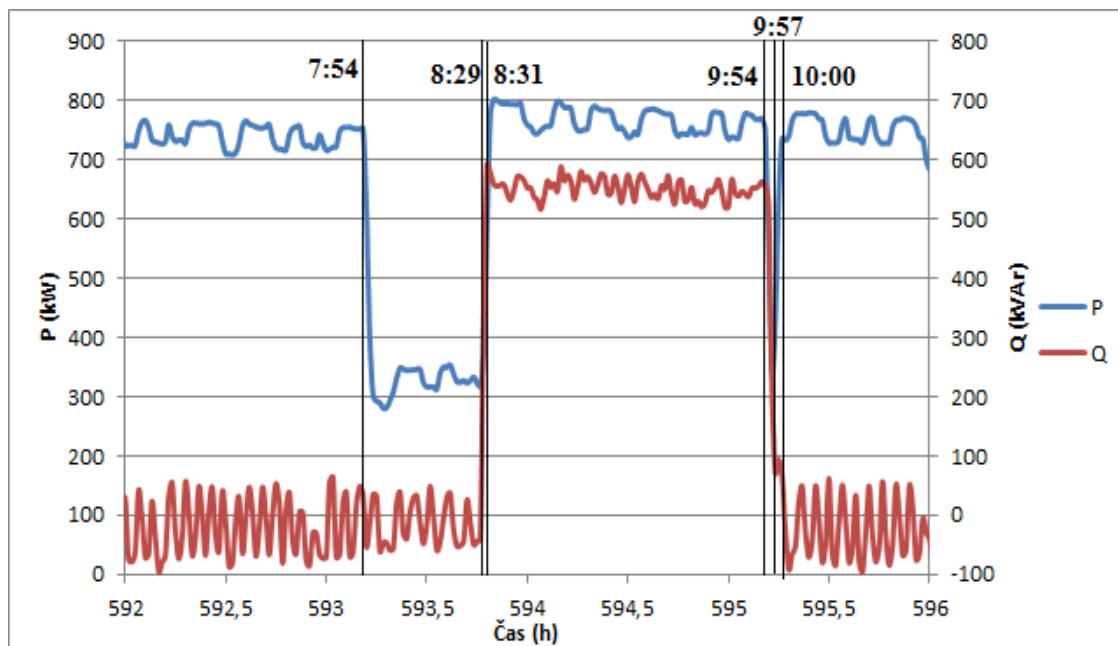


Graf č. 23.: Průběh účinníku, při úplném výpadku výroby elektrické energie

3) Období značného růstu dodávky jalového výkonu

Ve dne 15. 9. 2014 od 8:29 h. do 9:54 h. nastalo výrazné zvýšení výroby jalového výkonu kogeneračními jednotkami. Toto období trvalo 85 minut a vyznačovalo se výrazným propadem účinníku.

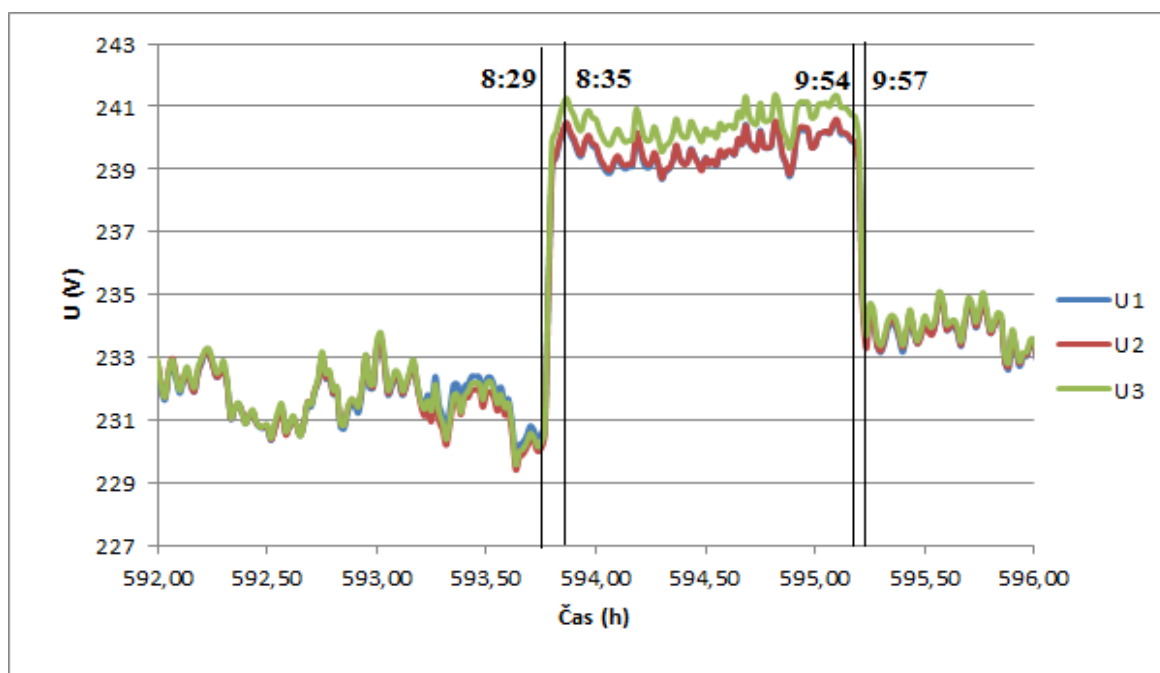
Na grafu č. 24, kde je zaznamenán průběh činného a jalového výkonu je vidět že v čase 7:54 h. až 8:29 h. došlo k výpadku jedné kogenerační jednotky, a s tím zároveň kleslo množství dodávané činného výkonu do sítě ze 750 kW asi na 335 kW. V čase 8:29 h. došlo k připojení druhé kogenerační jednotky, a tím došlo k růstu vyráběného činného a jalového výkonu. Jalový výkon rostl v témže čase z hodnoty -40 kVAr na 592 kVAr v čase 8:31h. a činný výkon rostl z hodnoty 318 kW, až do hodnoty 802 kW v čase 8:33 h. V období 8:29 h. až 9:54 h. nastalo dlouhé období, kdy se vyráběný jalový výkon držel na vysokých hodnotách okolo 525 kVAr, což mohlo být způsobené poruchou na kompenzaci účinníku. V čase 9:54 h. až 9:57 h. došlo k dalšímu poklesu výroby činného a jalového výkonu, kdy činný výkon klesá z hodnoty 750 kW na hodnotu 426 kW a ve stejném čase klesá jalový výkon z hodnoty 555 kVAr na hodnotu 72 kVAr. V čase 9:57 h. došlo k opětovnému připojení druhé kogenerační jednotky k síti, a tím pádem k růstu vyráběného činného výkonu, který začal strmě růst, až do hodnoty 736 kW v 10:00 h., na které se postupně ustálil. Jalový výkon naopak začal v čase 9:57 h., kdy došlo k připojení druhé kogenerační jednotky klesat z hodnoty 72 kVAr až do hodnoty -30 kVAr v čase 10:00, na které se postupně ustálil.



Graf č. 24.: Průběh činného a jalového výkonu v období značného růstu dodávky jalového výkonu

Graf č. 25 zobrazuje průběh napětí ve všech třech fázích ve sledovaném období značného růstu dodávky jalového výkonu. V čase 8:29 h., kdy došlo k připojení druhé kogenerační jednotky k síti, nastává růst napětí z hodnot kolem 230,7 V do průměrné hodnoty 240,7 V v čase 8:35 h. V období od 8:35 h., až do 9:54 h. se napětí drží víceméně na stabilní průměrné hodnotě 239,8 V. V čase 9:54 h. došlo k odpojení jedné kogenerační jednotky, a tím dochází k poklesu napětí z průměrné hodnoty 240,2 V na průměrnou hodnotu 233 V v čase 9:57 h. V čase 9:57 h. došlo k připojení dříve odpojené kogenerační jednotky, což mělo za následek mírný růst napětí a jeho ustálení na 233,5 V.

Z celkového pohledu se dá říct, že napětí v období značného růstu dodávky jalového výkonu rostlo, a to zejména v období od 8:29 h. do 8:35 h., ale i tak se napětí drží v mezích ± 10 Un stanovených normě ČSN 50160.

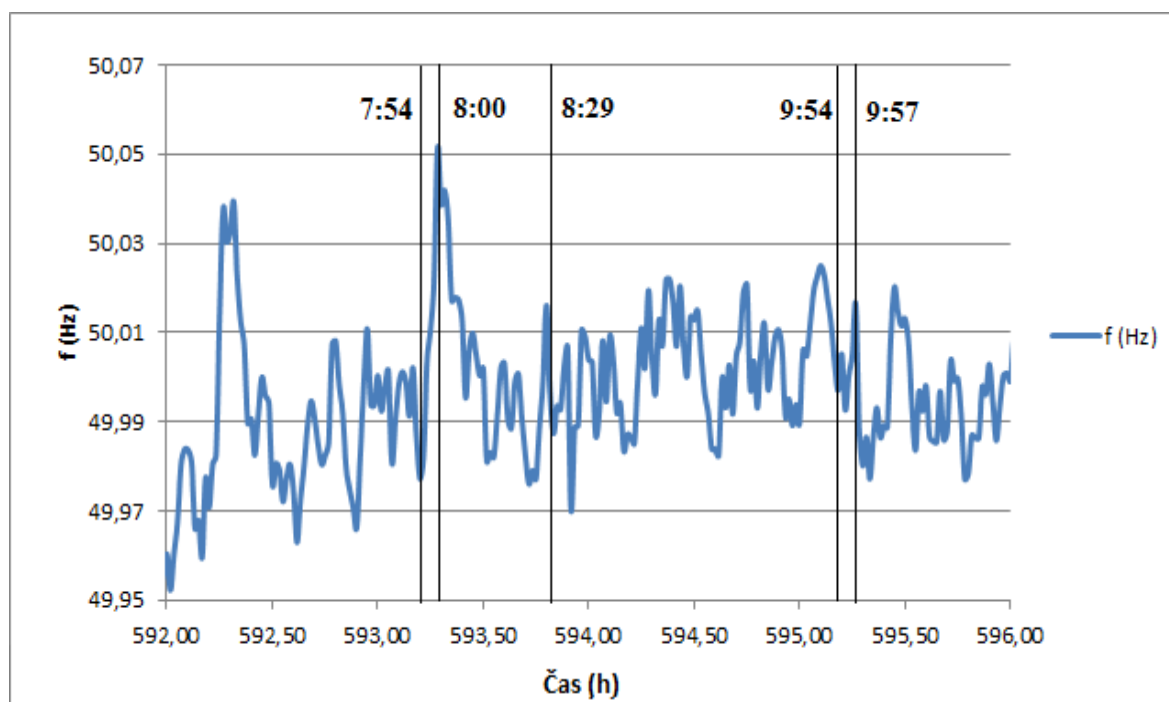


Graf č. 25.: Průběh napětí v období značného růstu dodávky jalového výkonu

Graf č. 26 znázorňuje průběh frekvence v období značného růstu dodávky jalového výkonu. V čase 7:54 h., kdy došlo k odpojení jedné kogenerační jednotky, dochází k růstu frekvence z hodnoty 49,977 Hz na hodnotu 50,051 Hz v čase 8:00 h., pak dochází k poklesu a ustálení frekvence na průměrné hodnotě 50,002 Hz až do doby 8:29 h., kdy dochází k mírnému růstu frekvence z hodnoty 50,989 Hz v důsledku připojení druhé kogenerační jednotky k síti, a následné opětovné stabilizaci frekvence na průměrné hodnotě 50,002 Hz. V 9:54 h. došlo k dalšímu odpojení jedné kogenerační jednotky a v důsledku toho dochází ke krátkodobému růstu frekvence z hodnoty 49,997 Hz, až na hodnotu 50,016 Hz v čase 9:57 h. kdy došlo k opětovnému připojení

druhé kogenerační jednotky. Od času 9:57 h., se frekvence postupně ustaluje na průměrné hodnotě 50,001 Hz.

Z pohledu frekvence ve sledovaném období značného růstu jalového výkonu se dá říct, že jednotlivé odpojení kogenerační jednotky od sítě mělo na výslednou frekvenci malý vliv, protože odchylka od optimální frekvence 50 Hz pohybovala maximálně do hodnoty 0,1 %.

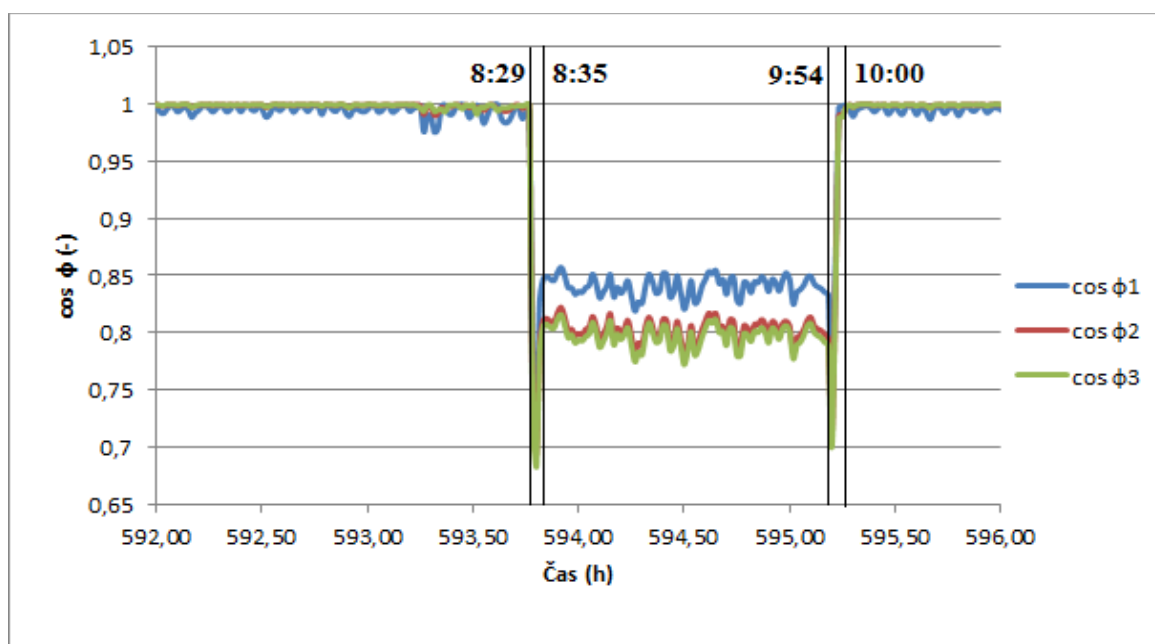


Graf č. 26.: Průběh frekvence v období značného růstu dodávky jalového výkonu

Účinník se držel na stabilní hodnotě 0,997, až do 8:29 h., kdy došlo k připojení druhé kogenerační jednotky, a s tím poklesl účinník, až na průměrnou hodnotu 0,68 v čase 8:31 h., a pak vlivem kompenzace účinníku začal účinník opět růst, až se ustálil na průměrné nepříliš dobré hodnotě 0,8 v čase 8:35 h., na které vydržel, až do 9:54 h. V čase 9:54 h. došlo k odpojení jedné kogenerační jednotky, a s tím klesal účinník až do hodnoty 0,7 v čase 9:55 h. Od času 9:55 h. dochází k prudkému růstu účinníku až do hodnoty 0,997 v čase 10:00 h., na které se hodnota účinníku ustaluje.

Důvod, proč v tomto sledovaném období byl tak špatný účinník, může být z důvodu poruchy na kompenzaci účinníku, což mohlo být způsobeno například nesprávným vyhodnocením velikosti účinníku řídicí jednotkou umístěnou na každé kogenerační jednotce, která řídí buzení synchronního generátoru, a tím velikost účinníku. Dle mého názoru tou problémovou částí by mohla být řídicí jednotka připojované druhé kogenerační jednotky, protože právě, když došlo k připojení druhé kogenerační jednotky v čase 8:29 h., tak došlo k výraznému propadu účinníku, pak v 8:31 h.

zareagovala kompenzace účiníku změnou buzení na první kogenerační jednotce a také sekundární kompenzace v podobě kondenzátorové baterie, umístěné v transformátorové kobce, nicméně jak je vidět v časovém období 8:35 h. až 9:54 h. účiník nebyl zrovna ideálně kompenzován, a proto se pohyboval okolo hodnoty 0,8. V čase 9:54 došlo k odpojení druhé kogenerační jednotky, a tím k dalšímu poklesu účiníku, až do hodnoty 0,7 v čase 9:55 h., kdy zareagovala kompenzace účiníku, a účiník začal opět růst. Navíc v 9:57 h. došlo k připojení druhé kogenerační jednotky, a s tím se zřejmě vzpamatoval řídicí člen, který má na starost řízení velikosti buzení na této kogenerační jednotce, což mělo za následek další růst účiníku, až do hodnoty 0,997 v čase 10:00 h.



Graf č. 27.: Průběh účiníku v období značného růstu dodávky jalového výkonu

5.3.5 Vyhodnocení měření

Cílem analýzy bylo zhodnocení celkového průběhu měření na bioplynové stanici Hodoňovice za období od 20.8. 2014, 11:11 h. do 19.9. 2014, 19:50 h.

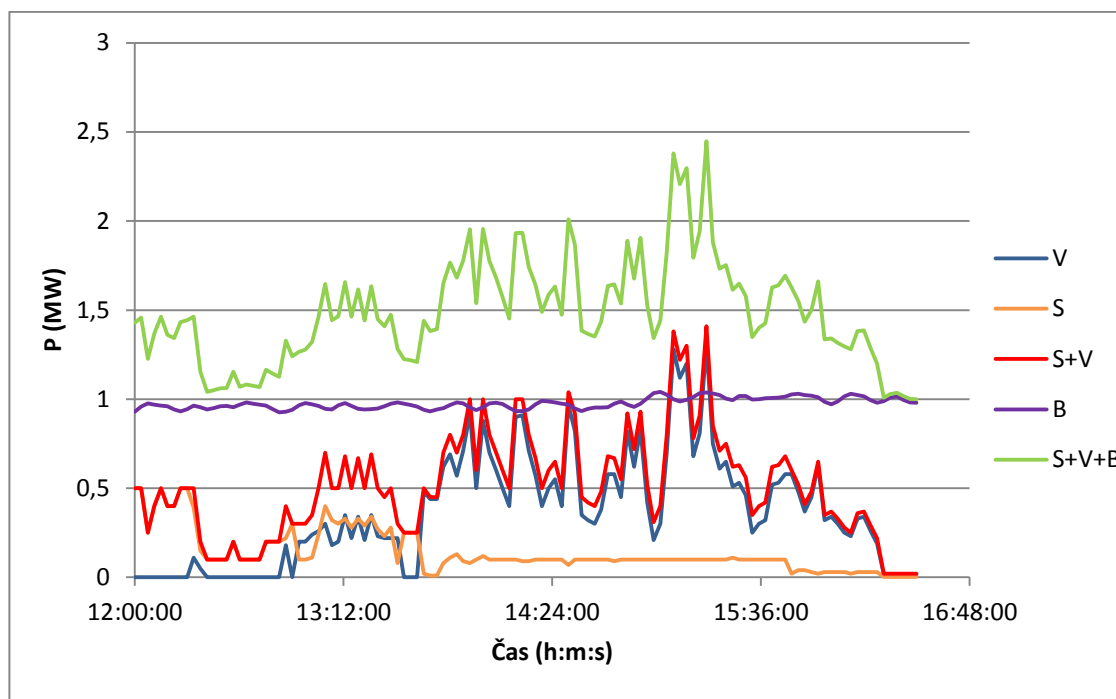
Z celkového pohledu dodávaného činného jalového výkonu do sítě je znát, že bioplynová stanice většinu času nejela na svůj plný jmenovitý výkon 1186 kW, ale v průměru dosahovala vyráběného činného výkonu kolem 876,8 kW, což představuje jen 74 % plného jmenovitého výkonu, dále se za dobu měření vyskytlo 9 významných propadů výroby činného výkonu, kdy se vyráběný činný výkon pohyboval od 290 – 758 kW. Důvod nižšího vyráběného činného výkonu a již zmíněných 9 výrazných propadů výroby činného výkonu je třeba hledat v použitých surovinách pro výrobu bioplynu, jelikož se kvůli nedostatku travní, žitné a kukuřičné siláže používala také

hovězí a hlavně vepřová kejda, ze které není možné při stejném objemu získat takové množství bioplynu jako z travní, žitné, či kukuřičné siláže, a tudíž bylo třeba kvůli nedostatečné tvorbě bioplynu omezit výkon kogeneračních jednotek, nebo dokonce jednu z nich na určitý čas odpojit. Kromě 9 částečných výpadků výroby elektrické energie došlo také k jednomu úplnému výpadku výroby elektrické energie z důvodu výpadku sítě, nicméně výpadek trval pouze 11 minut za celé měření, které trvalo 693,12 h.

Další problém, který se vyskytl, spočíval ve značném kolísání velikosti jalového výkonu, což bylo s největší pravděpodobností způsobeno dvojí regulací účinníku, kde jedna regulace účinníku je provedena přímo na kogeneračních jednotkách GE Jenbacher pomocí řídicího členu, který reguluje velikost buzení podle potřeby, a tím dochází k regulaci samotného účinníku. Druhá regulace účinníku je provedena jako skokově regulovatelná kondenzátorová baterie, která je umístěna ve venkovní kobce spolu s vývody transformátoru. Tyto dvě regulace nejsou spolu úplně ideálně sladěny, a proto dochází k rychlému kolísání velikosti jalového výkonu. Nejlepší by bylo, kdyby se navrhla jen jedna kompenzace účinníku, a to nejlépe ta na kogeneračních jednotkách pomocí regulace buzení, jelikož tato regulace je nejbližší samotné výrobě elektrické energie, ale hlavně proto, že dokáže účinník regulovat plynule. Abych jenom nekritizoval, i stávajícím řešením kompenzace účinníku dosahujeme velmi pěkného průměrného účinníku okolo hodnoty 0,997, problém spíše představuje okamžité hodnoty účinníku, kdy často nastala situace, že kogenerační jednotky v jednom čase do sítě dodávaly jalovou složku elektrické energie a o 3 minuty později naopak ze sítě jalovou složku energie odebíraly.

Co se týká hodnot kolísání napětí, velikosti frekvence, flikru, HDO signálů a složek harmonických vyšších řádů, tak všechny tyto veličiny splňují požadavky stanovených v normě ČSN 50160, která se zabývá charakteristikami napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě.

Na závěr ještě uvádím graf č. 28, ve kterém vycházím z průběhů výkonu z grafu č. 6 ze 4. kapitoly, jenom průběh výkonu dříve použité elektrárny na biomasu nahrazuji průběhem výkonu bioplynové stanice Hodoňovice v době 25.8. 2014 od 12:00 h. do 16:30 h. Graf č. 29 znázorňuje průběh výkonu sluneční elektrárny (S), větrné elektrárny (V), součet výkonu sluneční a větrné elektrárny (S + V), průběh výkonu bioplynové elektrárny Hodoňovice (B) a součet výkonu sluneční, větrné elektrárny a bioplynové elektrárny Hodoňovice (S + V + B).



Graf č. 28.: Průběh kolísání výkonů obnovitelných zdrojů 2

Na grafu č. 29 je patrné, že výkyvy výkonů sluneční (S) a větrné elektrárny (V) jsou částečně vykompenzovány při použití obou typů elektráren zároveň (S + V), dále je patrné, že výkon bioplynové stanice Hodoňovice (B) je oproti předchozím typům obnovitelných zdrojů velice stabilní (za předpokladu dostatku bioplynu), a díky použití kogeneračních jednotek se spalovacími motory na bioplyn je tento zdroj elektrické energie také rychle výkonově regulovatelný, tudíž je teoreticky možné tento zdroj použít pro vyrovnání stochastických změn výkonu způsobených provozem slunečních a větrných elektráren za předpokladu, že to bude ekonomicky rentabilní. Poslední průběh (S + V + B) v tomto grafu zobrazuje výsledný výkon při použití sluneční elektrárny, větrné elektrárny a bioplynové stanice Hodoňovice, tento poslední průběh nemá za úkol prezentovat schopnost bioplynové stanice Hodoňovice, kompenzovat kolísání výkonů předchozích dvou obnovitelných zdrojů, protože na to nebyla navrhována, spíše to zde uvádím proto, aby ještě více vyniklo to, jak je bioplynová stanice Hodoňovice stabilní zdroj elektrické energie, protože se průběh při použití všech 3 obnovitelných zdrojů prakticky nezměnil oproti předchozímu červenému průběhu (S + V), jenom celkový výkon narostl asi o 980 kW.

V souhrnu se dá považovat bioplynová stanice Hodoňovice za stabilní a rychle regulovatelný zdroj elektrické a tepelné energie za předpokladu že je zajištěno dostatečné množství bioplynu pro pohon kogeneračních jednotek, čehož může být dosaženo větším plynojemem, který by pokryl spotřebu bioplynu po dostatečně dlouhou dobu, anebo použitím biomasy vhodnější pro tvorbu bioplynu, než je zde ve velké míře používána vepřová a hovězí kejda. Bioplynové stanice využívajících spalovacích motorů na bioplyn by také mohly být vhodné pro akumulaci elektrické

energie za předpokladu dostatku bioplynu, a také za předpokladu většího rezervního výkonu kogeneračních jednotek, kdy v době přebytku elektrické energie v síti bioplynová stanice sníží svůj výkon nebo se úplně odpojí od sítě, a zároveň bude naakumulovávat bioplyn v plynojemu do zásoby, a v době nedostatku energie v síti bioplynová stanice zvýší svůj výkon a využije rezervního bioplynu v plynojemu, který se zde naakumulovával v době přebytku elektrické energie v síti.

6. Závěr

Obsah této diplomové práce se zabývá problematikou biomasy, bioplynu, bioplynových stanic a kogeneračními jednotkami, stochastikou větrných a slunečních elektráren a analýzou naměřených hodnot z bioplynové stanice Hodoňovice. V teoretické části je popsán proces vzniku a zpracování biomasy pro energetické účely, dále je popsán proces vzniku bioplynu a jeho následné zpracování a využití v bioplynových stanicích. V další části diplomové práce se zabývám kogeneračními jednotkami jejich principem funkce, dělením kogeneračních jednotek podle použité pohonné jednotky, podle vzdálenosti mezi výrobou a spotřebou a podle pořadí využívání produkovaných energií. Hlavním přínosem kogeneračních jednotek je jejich vysoká energetická účinnost, která může dosahovat až k 90%, díky tomu že využíváme jak vyrobenou elektrickou, tak i tepelnou energii. V bioplynových stanicích se nejčastěji používají kogenerační jednotky s pístovými spalovacími motory z důvodu jejich konstrukční jednoduchosti, nižším pořizovacím nákladům a možností rychlé regulace jejich výkonu.

Dalším bodem, kterému je v rámci této diplomové práce věnována pozornost, je vliv provozu slunečních a větrných elektráren na elektrickou distribuční síť. Ukazuje se, že tyto dva ekologické zdroje jsou velmi náchylné ke kolísání jejich výkonu v důsledku meteorologických podmínek, což znamená, že pokud chceme tyto zdroje elektrické energie používat ve větším měřítku, musíme na to poněkud naddimenzovat elektrická vedení pro možnost jejího vyššího zatížení, v případě přebytku vyráběné energie z důvodu, že např. začne více svítit slunce, či více foukat vítr, jelikož jsou tyto zdroje špatně energeticky regulovatelné, což platí hlavně u slunečních elektráren. Dále je třeba zajistit dostatečné množství zdrojů elektrické energie, které umožňují rychlou regulaci výkonu pro případ, kdy dojde k poklesu výroby elektrické a sluneční energie z důvodu meteorologických podmínek.

Závěrečným a také hlavním bodem této diplomové práce je kapitola věnující se analýze naměřených dat z bioplynové stanice Hodoňovice. Bioplynová stanice Hodoňovice využívá jako svoje palivo bioplyn získávaný z travní, žitné a kukuřičné siláže a prasečí a hovězí kejdy. Je vybavena dvojicí kogeneračních jednotek GE Jenbacher o celkovém činném výkonu 1186 kW. Jak se ukázalo z analýzy měření, které probíhalo od 20.8. do 19.9. 2014, kogenerační jednotky nepracovaly většinu času na svůj plný jmenovitý výkon 1186 kW, ale v průměru jen kolem 876,8 kW, což bylo způsobeno nedostatečnou tvorbou bioplynu ve fermentoru v důsledku použití většího množství vepřové a hovězí kejdy, namísto různých rostlinných siláží. Dále došlo k 9 významným poklesům vyráběného výkonu, kdy výkon poklesl o více jak 25% oproti předchozí hodnotě. Těchto 9 poklesů výkonu bylo způsobeno odpojením jedné kogenerační jednotky z důvodu nedostatku bioplynu. Další problém, který byl při analýze zjištěn, spočíval ve značném

kolísání vyráběného jalového výkonu, což bylo nejspíše zapříčiněno použitím dvojí regulací účinníku, jednou pomocí regulace buzení na synchronních generátorech kogeneračních jednotek, a druhou regulací účinníku pomocí skokově řízené kondenzátorové baterie nalézající ve venkovní kobce spolu s transformátorovými vývody. Dále došlo k jednomu úplnému výpadku výroby elektrické energie z důvodu výpadku sítě, tento výpadek trval jen asi 11 minut.

Nicméně z celkového pohledu naměřené průběhy z bioplynové stanice Hodoňovice splňují požadavky kladených normou ČSN 50160, která se zabývá charakteristikami napětí elektrické energie dodávané z veřejné distribuční sítě, dokonce i v případě účinníku dosahujeme výborné hodnoty v průměru kolem hodnoty 0,997, takže se ukazuje, že i když kompenzace účinníku není úplně sladěná a jalový výkon v čase značně kolísá, tak v průměru to nemá na účinník velký vliv, problém představují pouze okamžité hodnoty jalové složky elektrické energie.

Závěrem je třeba říct, že i když vyráběný výkon u bioplynové stanice Hodoňovice v čase kolísá, tak se může jednat o stabilní a rychle regulovatelný zdroj s možností akumulace elektrické energie ve formě bioplynu za předpokladu, že zajistíme dostatečné množství bioplynu pro chod kogeneračních jednotek, což může být provedeno použitím biomasy vhodnější pro produkci bioplynu, tzv. místo použití živočišné kejdy se použije např. kukuřičná siláž, žitná siláž atd., anebo se navrhne větší plynajem, který pokryje spotřebu bioplynu ze svých zásob po dostatečně dlouhou dobu a také pokud budeme požadovat, aby bioplynová stanice vyrovnávala větší výkyvy výkonu v síti, musíme podle toho také dostatečně naddimenzovat výkon kogeneračních jednotek, aby byly schopné patřičné výkonové výkyvy v síti vykompenzovat. Takže v souhrnu bioplynové stanice v současnosti ještě nejsou úplně připraveny pro akumulaci většího množství elektrické energie ve formě biomasy, anebo pro větší vyrovnávání kolísání výkonu v síti. Z principu funkce bioplynovým stanicím sice nic nebrání, aby vykonávaly tyto úlohy, ale z technického hlediska nejsou ve většině případů pro tento typ použití stavěny a bude třeba dalších investic, pokud budeme požadovat, aby bioplynové stanice byly pro tento typ úkolů použitelné.

Seznam použité literatury

- [1] Krbek J., Polesný B.: Kogenerační jednotky zřizování a provoz. 1. vydání Praha: GAS 2007, ISBN 978 - 80 - 7328 - 151 - 9
- [2] Mastný P. a kol.: Obnovitelné zdroje elektrické energie. 1. vydání Praha: ČVUT 2011, ISBN 978 - 80 - 01 - 04937 - 2
- [3] Janíček F., a kol.: Renewable energy sources 1. 1. Vydání Bratislava: Renesans 2009, ISBN 978 - 80 - 89402 - 05 - 2
- [4] Sborník referátů EPE 2013 – Foltyn D.: Optimalization of operation of renewable energy sources, VŠB Ostrava 2013
- [5] Benda V., a kol.: Obnovitelné zdroje energie. 1. vydání Praha: Profi press, 2012. ISBN 978 - 80 - 86726 - 48 - 9.
- [6] BIOM.cz, [online]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz>
- [7] BIOPROJECT, [online]. Dostupné z: www.bioproject.cz/
- [8] FARMATEC, [online]. Dostupné z: <http://www.farmtec.cz>
- [9] Dvorský E., Hejtmánková P.: Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. 1. Vydání Praha: BEN 2005. ISBN 80 - 7300 - 118 – 7
- [10] ODDĚLENÍ STATISTIK ERÚ. Roční zpráva o provozu ES ČR 2012, [online]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2013.pdf/20c3f587-a658-49f7-ace9-56be8a66b7b9
- [11] ELEKTROREVUE, [online]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/download/vliv-fotovoltackych-elektren-na-provoz-distribucni-soustavy/>
- [12] Cu STŘEDISKO MĚDI, [online]. Dostupné z: http://www.medportal.sk/files/file/lpq_cz/5_1_4.pdf
- [13] FCC PUBLIC s. r. o., [online]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37250

- [14] PVGIS, [online]. Dostupné z:
http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eu_cmsaf_opt/PVGIS_EU_201204_publication.png
- [15] Sborník referátů EPE 2012 – Smoček M., Hradílek Z.: Stochastic effects of renewable energy sources, VŠB Ostrava 2012
- [16] Špaček M. a kol.: Evaluation of Output Measurement of Biogas station Hodoňovice, Hodoňovice 2014
Dostupné z: <http://www.cs.vsb.cz/elnet/2014/>
- [17] Jakubes, J. a kol.: Moderní využití biomasy technologické a logistické možnosti [online]. Česká energetická agentura, 2006.
Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>
- [18] Sovjáková, M.: Bakalářská práce na téma: Zpracování organického odpadu v bioplynových stanicích, VŠB Ostrava 2014

Seznam obrázků

<i>Obr. č. 1.: Ukázka různých druhů biomasy [6]</i>	<i>10</i>
<i>Obr. č. 2.: Bioplynová stanice Meclov [6]</i>	<i>17</i>
<i>Obr. č. 3.: Ukázka fermentoru – bioplynová stanice Čejč [7]</i>	<i>18</i>
<i>Obr. č. 4.: Kombinovaná výroba energetických forem [9]</i>	<i>20</i>
<i>Obr. č. 5.: Systém kogenerace vyžívající palivové články firem Panasonic, Viessman [6]</i>	<i>23</i>
<i>Obr. č. 6.: Ukázka parní turbíny [6]</i>	<i>25</i>
<i>Obr. č. 7.: Kogenerační jednotka GE Jenbacher 320 se zážehovým motorem [6]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. č. 8.: Ukázka Stirlingova motoru [6]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. č. 9.: Mapa intenzity slunečního záření [14]</i>	<i>35</i>
<i>Obr. č. 10.: Bioplynová stanice Hodoňovice [16]</i>	<i>42</i>
<i>Obr. č. 11. Schéma zapojení kogeneračních jednotek do distribuční sítě [16]</i>	<i>44</i>

Seznam grafů

<i>Graf č. 1.: Průběh krátkodobé stochastické změny [15]</i>	39
<i>Graf č. 2.: Průběh delší a pozvolné stochastické změny [15]</i>	39
<i>Graf č. 3.: Průběh dlouhodobé stochastické změny [15]</i>	40
<i>Graf č. 4.: Průběh kolísání výkonů obnovitelných zdrojů 1 [15]</i>	41
<i>Graf č. 5.: Průběh celkového činného výkonu dodávaného do sítě</i>	45
<i>Graf č. 6.: Průběh celkového činného výkonu dodávaného do sítě část 1</i>	46
<i>Graf č. 7.: Průběh celkového činného výkonu dodávaného do sítě část 2</i>	46
<i>Graf č. 8.: Průběh jalového výkonu</i>	47
<i>Graf č. 9.: Průběh napětí U_1, U_2, U_2</i>	48
<i>Graf č. 10.: Průběh účinníku v době měření</i>	49
<i>Graf č. 11.: Průběh frekvence v době měření</i>	49
<i>Graf č. 12.: Průběh krátkodobé míry vjemu flikru P_{st}</i>	50
<i>Graf č. 13.: Průběh dlouhodobé míry vjemu flikru P_{lt}</i>	50
<i>Graf č. 14.: Průběh 5. Harmonické</i>	51
<i>Graf č. 15.: Celkový činitel zkreslení THD</i>	52
<i>Graf č. 16.: Průběh činného a jalového výkonu při jedné kogenerační jednotky</i>	53
<i>Graf č. 17.: Průběh napětí při výpadku jedné kogenerační jednotky</i>	54
<i>Graf č. 18.: Průběh frekvence při výpadku jedné kogenerační jednotky</i>	55
<i>Graf č. 19.: Průběh účinníku při výpadku jedné kogenerační jednotky</i>	55
<i>Graf č. 20.: Průběh činného a jalového, při úplném výpadku výroby elektrické energie</i>	56
<i>Graf č. 21.: Průběh napětí, při úplném výpadku výroby elektrické energie</i>	57
<i>Graf č. 22.: Průběh frekvence výpadku výroby elektrické energie</i>	58
<i>Graf č. 23.: Průběh účinníku, při úplném výpadku výroby elektrické energie</i>	58
<i>Graf č. 24.: Průběh činného a jalového výkonu v období značného růstu dodávky jalového výkonu</i>	59
<i>Graf č. 25.: Průběh napětí v období značného růstu dodávky jalového výkonu</i>	60
<i>Graf č. 26.: Průběh frekvence v období značného růstu dodávky jalového výkonu</i>	61
<i>Graf č. 27.: Průběh účinníku v období značného růstu dodávky jalového výkonu</i>	62
<i>Graf č. 28.: Průběh kolísání výkonů obnovitelných zdrojů 2</i>	64

Seznam Tabulek

<i>Tab. č. 1.: Ukázka produkce bioplynu z různých druhů biomasy [3]</i>	16
<i>Tab. č. 2.: Vývoj výroby elektřiny z OZE a její podíl na hrubé domácí spotřebě [10]</i>	31